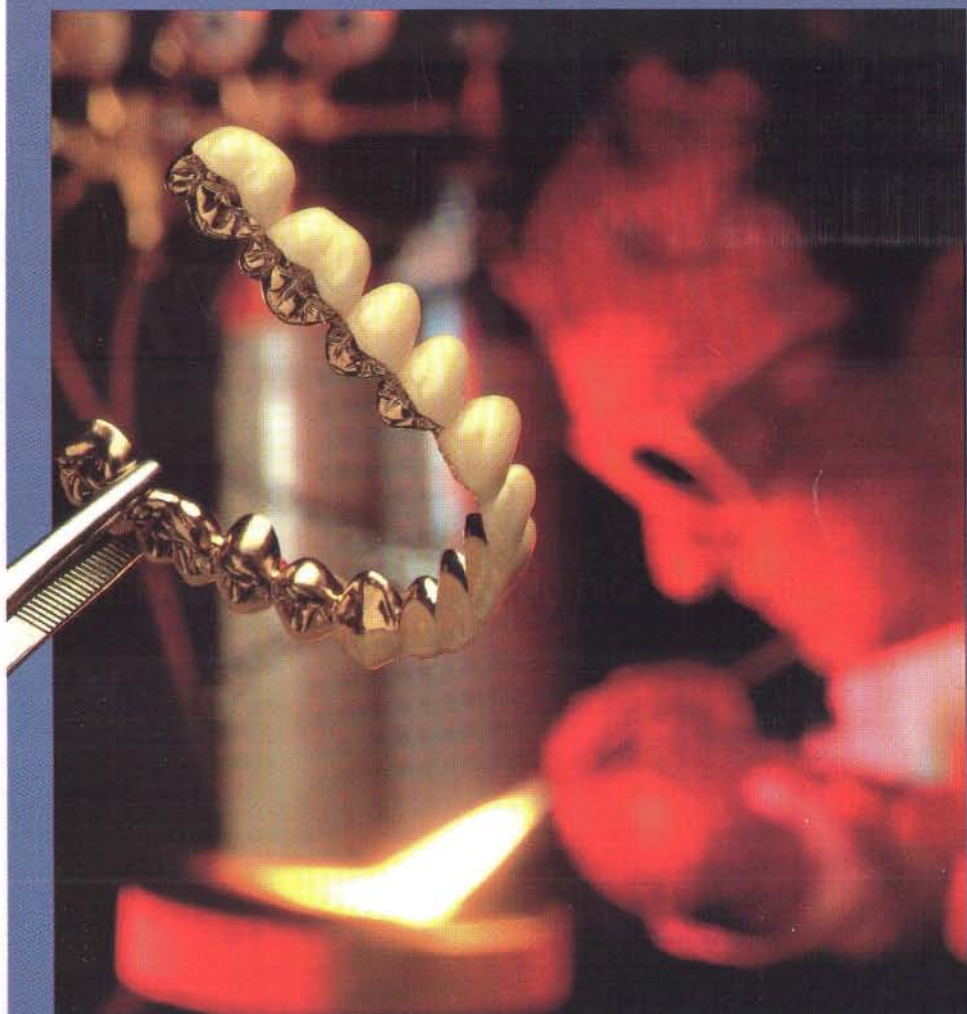


10 | 61^e jaargang

NATUUR '93 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



GOUD, MYSTERIEUS METAAL

DRUGS/HET ONTSTAAN VAN NIEUWE SOORTEN/GROEI/
BESCHERMDE BERICHTEN/HET HUIDIGE KLIMAAT

Geneesmiddelen-Innovatie vandaag voor de gezondheid van morgen:

Boehringer Ingelheim stelt zich voor:

Boehringer Ingelheim begon haar activiteiten in de chemische en farmaceutische sector in 1885.

Boehringer Ingelheim neemt thans, meer dan honderd jaar later, een belangrijke plaats in op de lijst van de grootste farmaceutische ondernemingen ter wereld.

De belangrijkste doelstelling van Boehringer Ingelheim is het continueren van de activiteiten voor research en ontwikkeling van innovatieve geneesmiddelen.

De onderneming investeerde in 1987 daarvoor een bedrag van 650 miljoen Duitse Markten, hetgeen 20% van haar inkomsten uit farmaceutische producten in dat jaar uitmaakte. In 1988 is hiervoor 643 miljoen Duitse Markten geïnvesteerd, ofwel 19,0% van de totale omzet.

De research-centra van Boehringer Ingelheim bevinden zich in de Bondsrepubliek Duitsland, zowel in Ingelheim als in Biberach, in Oostenrijk (Wenen) en in Italië (Milaan). Voorts zijn er nog research-centra in

Ridgefield in de Verenigde Staten en in Kawanishi in Japan.

Enkele jaren geleden hebben, bij de dochteronderneming Dr. Karl Thomae te Biberach, onderzoek en ontwikkeling op het gebied van recombinant-DNA-technologie hoge prioriteit gekregen.

werd gesteld. Deze fabriek, waar alleen Actilyse kan worden geproduceerd, vergde een investering van 135 miljoen Duitse Markten.

Boehringer Ingelheim heeft thans eigen vestigingen in meer dan 80 landen, terwijl haar geneesmiddelen in meer dan 140 landen worden verkocht. In een



aantal prioriteitslanden met eigen vestigingen wordt klinisch onderzoek geëntaamd en begeleid. Nederland is één van de belangrijkste

In samenwerking met Genentech Inc. uit San Francis-co, USA, heeft Boehringer Ingelheim het eerste biotechnologisch verkregen geneesmiddel op het gebied van hart- en vaatziekten -Actilyse- op grote schaal gefabriceerd en klinisch onderzocht. Dit produkt lost stolsels op in o.a. de bloedvaten van het hart, welke de belangrijkste oorzaak van het hartinfarct vormen.

Actilyse wordt geproduceerd in het nieuwe biotechnicum te Biberach, dat op 11 november 1986 in bedrijf

landen waar relatief veel klinisch geneesmiddelen-onderzoek wordt verricht, waardoor Boehringer Ingelheim Alkmaar in Nederland een belangrijke bijdrage levert aan de ontwikkeling van nieuwe geneesmiddelen.



**Boehringer
Ingelheim**

Boehringer Ingelheim bv
Postbus 8037
1802 KA Alkmaar
Telefoon 072-662463

NATUUR '93 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 12,25 of 240 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Al duizenden jaren is goud in gebruik als tandheelkundig materiaal. Dat is niet zo verwonderlijk, want goud is een van de weinige metalen die in de mond geen chemische reacties aangaan. Bij winning en raffinage speelt de reactiviteit van goud juist een grote rol. Vanaf pagina 772 gaat prof dr J. Steggerda in op de chemie van het kostbare metaal. (foto: Metalor, Amsterdam)

Hoofredactie: Th.J.M. Martens, Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek, Drs E.J. Vermeulen.

Secretariaat: Drs L.P.J. Slangen, A.M. van Haasen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, W.H. Poels, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Redactie-adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten. De Redactie-adviesraad adviseert in algemene zin maar draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, D. Gorissen, P. Maas.

Druk: Valkenburg Printers Echt (Ned.).

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, ook in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 125,- of 2450 F.

Voor studenten: f 95,- of 1860 F.

Abonnement voor drie jaar: f 320,- of 6275 F.

Overige landen: f 35,- extra porto (zeepost) of f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 12,25 of 240 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel: Betapress BV, Gilze (Ned.).

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK worden afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Advertentie-exploitatie: Publiciteitsbureau Spoor & Partners BV (lid VOME), Postbus 200, 2060 AE Bloemendaal (Ned.).

Telefoon: 0(0-31)23-271114. **Fax:** 0(0-31)23-254045. **Telex:** 41529 spoor nl.

Redactie, vormgeving en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres: Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124. **Telex:** 56642 natu nl

Postrekening: In Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur & Techniek, Maastricht.

In België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur & Techniek, Brussel.

Bankrelatie: In Nederland: ABN-AMRO-Bank NV, Heerlen, nr. 44.82.00.015.

In België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

Verantwoordelijke uitgever in België: Bogaerts Nadia, Mankevosstraat 35, 1860-Meise.

EURO
ARTIKEL

NATUUR

Artikelen met nebenstaand vignet resulteren uit het EURO-project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTIFICO (E).

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publicatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale Uitgeverij en Adviesbureau b.v.

INHOUD

ACTUEEL	X
AUTEURS	XII
HOOFDARTIKEL/Evolutie	771

GOUD 772

Het mysterieuze metaal

J.J. Steggerda

Goud ziet er met zijn schijnbaar eeuwigdurende glans zo edel en onaantastbaar uit. Toch kan het alleen dankzij zijn chemische reactiviteit uit erts worden gewonnen en geraffineerd. Die weg is lang en kostbaar, want in duizend kilogram van het 'rijke' gesteente zitten maar enkele grammen zuiver goud. Het gebruik van het edelmetaal goud beperkt zich niet tot munten en sieraden. Zo is er een snel stijgend goudgebruik in de elektronica. Patiënten met reumatische aandoeningen vinden steeds vaker baat bij therapieën met nieuwe goudverbindingen.



DRUGS 784

Ludolf Maat en Amy Pluim Mentz

De meeste stoffen die we in Nederland en België drugs noemen, kunnen we indelen in drie sterk verschillende groepen: verdovende, opwekkende en bewustzijnsverruimende middelen. Alle drugs beïnvloeden de prikkeloverdracht tussen zenuwcellen, doordat ze zich kunnen binden aan receptoren die voor lichaamseigen stoffen zijn bedoeld. De verschillen in werking ontstaan doordat de groepen drugs elk op andere zenuwcellen aangrijpen. Wanneer we drugs doorzien, kunnen we wellicht de geneeskunde verrijken met verwante stoffen die wel de plezierige, maar niet de verslavende eigenschappen daarmee delen.



SPREIDING EN SCHEIDING 796

Het ontstaan van nieuwe soorten

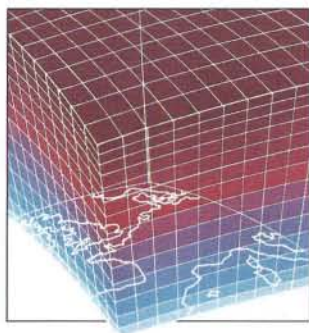
Steph B.J. Menken

Ons voorstellingsvermogen schiet tekort om de enorme verscheidenheid aan levensvormen op aarde te bevatten. Wellicht nog verbazingwekkender is dat het grootste deel van alle soorten nog steeds niet door wetenschappers is ontdekt. Na de eerste verbazing rijst spoedig de vraag hoe deze biologische verscheidenheid en complexiteit zich heeft kunnen ontwikkelen. Als het leven eenmalig op aarde is ontstaan, zoals algemeen wordt aangenomen, moeten er processen bestaan waardoor uit één soort meerdere soorten ontstaan.



NATUUR '93 & TECHNIEK

oktober/61^e jaargang 1993



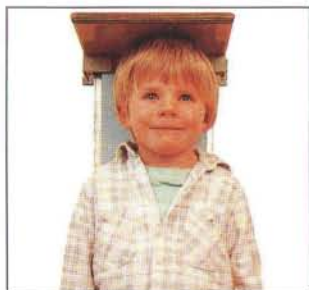
KIJK OP WETENSCHAP

HET HUIDIGE KLIMAAT

806

John Gribbin

Waarom verschilt het weer in de diverse werelddelen en op verschillende momenten van het jaar? In de discussie over klimaatsverandering, lijkt het soms of de politiek het klimaat bepaalt. Dat is niet zo. De belangrijkste oorzaken blijken de schuine stand van de draaiende aarde ten opzichte van de zon en de verdeling van land en zee. Dat klinkt eenvoudig, maar achter deze oorzaken gaat een zeer complex samenspel van factoren schuil.



GROEI

816

Baby, kind en puber langs de lat

G.B.A. Stoelinga

Groei, van bevruchting tot volwassenheid, verloopt volgens vaste patronen. De lengtegroei loopt zo rond het achttien-de levensjaar ten einde. Bij sommigen is er in die achttien jaar iets mis gegaan. Om te kunnen vaststellen of een stoornis in het groeitraject een eventueel tekort in lengte of ontwikkeling kan verklaren, moet men inzicht hebben in de regulatie van het hele proces, van het begin van het leven tot het eindpunt van de lengtetoeename. Op basis van die kennis kan de groei soms worden bevorderd.



BESCHERMDE BERICHTEN

828

Verpakt in nullen en enen

Henk C.A. van Tilborg

Iedereen die wel eens naar televisiespelletjes als Lingo of Twee voor Twaalf heeft gekeken, weet dat je van een onbekend woord of stuk tekst niet alle letters hoeft te kennen om toch dat woord of stuk tekst te achterhalen. Taalkundige experimenten leren ons, dat hierbij gemiddeld zelfs twee van de drie letters mogen worden weggelaten. Dit principe is aardig voor een gezelschapsspel of een TV-quiz. De wiskundige basis ervan vinden we echter terug bij het overseinen van satellietfoto's en het afspeken van een CD.

ANALYSE & KATALYSE/De prehistorie onder de microscoop/
Een foutje in de stofwisseling

838

ACTUEEL/OLYMPIADE

846

SIMULATICA/Toeval of niet?

851

PRIJSVRAAG

854

wat geen **STUDIE (-BOEK)** u kan bieden



Vele lezers van Natuur & Techniek hebben vorige maand een nieuwe overstap gemaakt. Voor de jongeren onder hen is dat de overstap van het ene studiejaar naar het andere, of misschien wel van het ene onderwijstypen naar het andere. Voor de ouderen onder hen is dat wellicht de overstap van studie naar werk of zelfs van werk naar studie.

Bij elke overstap moet er een kloof worden overbrugd. Het onderwijs, maar eigenlijk het hele leven, is er vol van: niet alleen de kloof tussen studiejaar en onderwijstypen, maar ook de kloof die vakgebieden, studieprogramma's en modules van elkaar scheidt.

Bij Natuur & Techniek is een aantal boeken verkrijgbaar die u helpen die kloof te overbruggen. Deze boeken zijn door onze staf met zorg geselecteerd op een tweetal criteria: ze helpen uw inzicht te **verbreden** door verbanden met andere vakgebieden te leggen. Of ze helpen uw inzicht te **verdiepen** door de samenhang aan te brengen waar geen studieprogramma aan toekomt.

Geen **studieboeken** dus, maar net iets méér. Daarvoor zijn ze trouwens te goed geschreven en te goed geïllustreerd. Kijkt u zelf maar.

ENERGIE EN ENTROPIE

DE TWEEDE HOOFDWET VAN DE THERMODYNAMICA
P.W. Atkins

Voor wie het begrip 'entropie' altijd een beetje vaag is gebleven is dit boek een uitkomst. Door de talloze voorbeelden begint de 'entropie' als mate van wanorde' werkelijk gestalte te krijgen.

Door bewust de wiskundige formulering achterwege te laten, vereist Atkins' boek weinig voorkennis. Dit heeft bovendien als voordeel dat de fysica, die veelal verborgen ligt in de wiskundige formules, veel beter tot zijn recht komt.

"De doelgroep waarvoor het boek geschikt is betreft studenten uit de hoogste klassen van het VWO met een duidelijke interesse voor natuur- en scheikunde en studenten uit het hoger beroepsonderwijs en wetenschappelijk onderwijs die met dit boek een verbreding van hun visie op de wereld van de thermodynamica kunnen verkrijgen."

Dr.ir. R.A.J. Janssen
Technische Universiteit Eindhoven
Vakgroep Organische Chemie



BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

De wetten van de natuurkunde

BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

DE WETEN VAN DE NATUURKUNDE

Steven Weinberg

Eigenlijk zijn dit twee boeken, die op een slimme manier met elkaar verweven zijn. Eén boek is het verslag van een reeks hoogtepunten uit de natuurkunde van de 20e eeuw, gebeurtenissen die hebben geleid tot de ontdekking van de deeltjes in het atoom: het elektron, het proton en het neutron. Het andere boek bestaat uit een inleiding tot die grondbeginselen van de klassieke natuurkunde – mechanica, elektriciteit en magnetisme, warmteleer – die bij deze ontdekkingen een belangrijke rol speelden.

Kortom: een overzicht dat inzicht genereert.

208 pagina's met 49 afbeeldingen.

In zwart/wit druk.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

EINSTEIN... EN DAARNA

DE UITWERKING VAN EEN GENIALE GEDACHTE

Julian Schwinger

Einstein...en daarna benadert de relativiteitstheorie vanuit een populaire hoek, maar maakt toch regelmatig gebruik van wiskundige formules. Wie niet schrikt van gedachtenexperimenten en vertrouwd is

met basisbegrippen uit de wetenschap en de natuurkunde heeft aan *Einstein...en daarna* een goede gids in het lastige gebied van de relativiteitstheorie van Einstein.

"Schwinger's boek is voor mij zonder twijfel het best populariserende werk over Einstein's relativiteitstheorie dat ooit verschenen is. De taal is beeldrijk en levendig. Alle berekeningen staan stap voor stap volledig uitgewerkt in de hoofdstukken. Daardoor is een werk tot stand gekomen dat de leek (en menig student in de fysica!) voor het eerst reële kans biedt om Einstein te begrijpen."

Prof. dr. R.T. Van de Walle
K.U. Nijmegen

230 pagina's met 104 afbeeldingen.

In vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

EINSTEIN... EN DAARNA

De uitwerking van een geniale gedachte



250 pagina's met 200 afbeeldingen.

In vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

DE LEVENDE CEL (IN TWEE DELEN)

RONDREIS IN EEN MICROSCOPISCHE WERELD

Christian de Duve

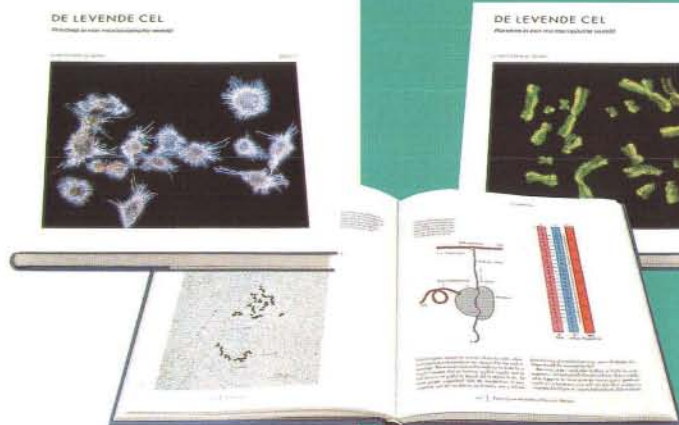
Christian de Duve is de 'peetvader' van de celbiologie en zal dan ook de beste gids zijn om ons in te wijden in de biologie van de levende cel. Zijn gevoel voor presentatie staat ook garant voor de beste illustraties. De aanpak van de twee boeken is uniek: men gebruikt de morfologie van de cel om kennis te nemen van alle biologische en biochemische celprocessen.

"De wetenschappelijke kwaliteit en het literaire karakter van het boek staan borg voor een boeiende introductie in de celbiologie en de biochemie."

Prof. dr. W.Th. Daems
Rijksuniversiteit Leiden

"Persoonlijk vind ik dit boek een aanrader voor alle eerstejaars biologie en HBO-studenten. Niet alleen vanwege de kwaliteit van tekst en illustraties. Veel meer vanwege de integratie van biochemie, moleculaire biologie en celbiologie."

Prof. dr. H.O. Voorma
Rijksuniversiteit Utrecht



228 pagina's met 137 afbeeldingen.
In vierkleurendruk en zwart/wit.
Prijs: f 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN

EEN SCANNING-ELEKTRONEN MICROSCOPISCHE STUDIE-ATLAS

Richard G. Kessel - Randy H. Kardon

Sinds enige tijd werkt men met een microscooptype dat ook de derde dimensie van biologische structuren voor onderzoek toegankelijk heeft gemaakt. In het Nederlandse taalgebied bestond al jaren behoefte aan een dergelijke atlas, vooral voor studie- en onderwijsdoeleinden. Op initiatief van NATUUR & TECHNIEK werd daarop een Nederlandse bewerking van deze atlas op zeer deskundige wijze verzorgd door prof. dr. A.M. Stadhouders, Hoofd van het Centrum voor Elektronenmicroscopie van de Katholieke Universiteit te Nijmegen.



240 pagina's met ca. 200 afbeeldingen.
In vierkleurendruk en zwart/wit.
Prijs: f 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.



PSYCHOFARMACA

HERSENEN ONDER INVLOED
Solomon H. Snyder

Van 'psychofarmaca' kun je high worden of ziek of weer beter. Deze stoffen, die de hersenfuncties beïnvloeden, worden ten goede of ten kwade, in vele toepassingen aangewend. In het wetenschappelijk onderzoek hebben psychofarmaca enorm veel kennis opgeleverd over de werking van de menselijke hersenen. Snyder

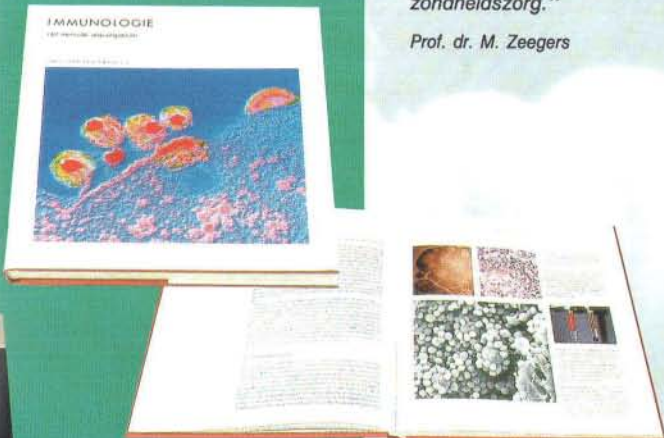
geeft in dit boek een overzicht van de huidige kennis over het functioneren van het menselijk brein en beschrijft een aantal van de experimenten die tot deze kennis hebben geleid.

"De lezer krijgt een dosis noodzakelijke basiskennis toegediend die hier en daar misschien wat ingewikkeld is. Maar het loont de moeite de auteur te volgen, want plotseling begrijpt de lezer het principe van de werking van geneesmiddelen bij de behandeling van schizofrenie, de ziekte van Parkinson, depressie en angst."

Prof. dr. D.F. Swaab
Directeur Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek

"Zeer aan te bevelen aan studerende en werkers in de geestelijke gezondheidszorg."

Prof. dr. M. Zeegers



IMMUNOLOGIE

HET MENSELIJK AFWEERSYSTEEM
J.G. van den Tweel e.a.

Wie enig inzicht wil krijgen in het menselijk afweersysteem, in de ontwikkeling van medicijnen tegen AIDS en kanker, in de problemen bij orgaantransplantaties, in de ontwikkeling van diagnoses met behulp van monoklonale antilichamen of in de achtergronden van allergie-reacties, heeft aan dit boek een uitstekende gids. Het geeft een 'state of the art' van de mechanismen die onze gezondheid reguleren.

"Omdat dit boek de stand van zaken ook didactisch gezien duidelijk op een rij zet, is het uitermate geschikt als leerboek voor een ieder die tijdens zijn of haar opleiding met de immunologie in aanraking komt."

C.W. van Verseveld, arts
Hogeschool Interstudie, Nijmegen
sector laboratoriumopleidingen

DE DNA-MAKERS

GENETICA EN GENETISCHE MODIFICATIE

Huub Schellekens e.a.

Na de herontdekking van de wetten van Mendel aan het begin van deze eeuw werd lang gezocht naar de drager van de erfelijkheid. In 1953 werd de DNA-structuur opgehelderd en vervolgens de code ontcijferd. Sindsdien zijn de ontwikkelingen in een stroomversnelling geraakt. Momenteel kennen we allerlei technieken om DNA in kaart te brengen, te vermeerderen en zelfs te veranderen. Welke revolutionaire mogelijkheden liggen hier om de erfelijke eigenschappen van mensen, dieren en planten te veranderen? De ethische discussie over wat mogelijk en wat wenselijk is, wordt heviger dan ooit.

"Er vindt een revolutie plaats in onze kennis van de natuur, met grote maatschappelijke gevolgen. Wie zich daarvoor interesseert, vindt in dit boek een deskundige en begrijpelijke samenvatting van de stand van zaken."

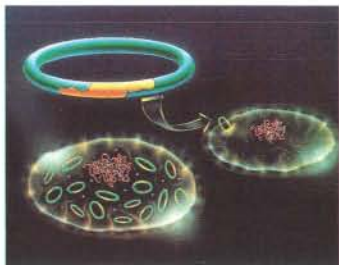
Prof.dr. P. Borst

Wetenschappelijk directeur van Het Nederlands Kanker Instituut

"Niet alleen geeft het de leek een overzicht van een ruim vakgebied, maar dit goed geïllustreerde boek is ook uitermate geschikt als kapstok bij het onderwijs in de moleculaire biologie."

Drs. J. Sprangers

Sector Laboratorium Onderwijs,
Hogeschool West-Brabant.



ENZYMEN

GANGMAKERS IN DE NATUUR

David Dressler en Huntington Potter

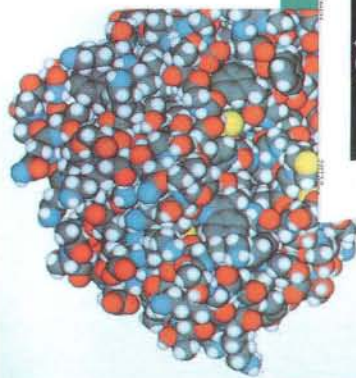
Van alle duizenden chemische reacties die voor de activiteiten van een organisme noodzakelijk zijn, heeft bijna elke omzetting een eigen enzym nodig om bij de heersende temperatuur en druk te kunnen verlopen. Deze levensnoodzakelijke moleculen vormen het hoofdthema van Dresslers boek *Enzymen*: hoe werden ze ontdekt, en hoe herkennen en veranderen ze het molecuul waarop ze inwerken?

"Iedereen met middelbare-schoolkennis van de chemie en/of biologie als achtergrond kan ik dit boek van harte aanbevelen als zeer aantrekkelijk (zelf)studie-materiaal."

Prof.dr. D.H.W. den Boer
Rijksuniversiteit Utrecht

"Here is an introduction to the broad powers of biochemistry ... seven beautifully illustrated and smoothly written chapters."

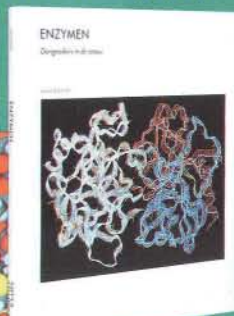
Scientific American

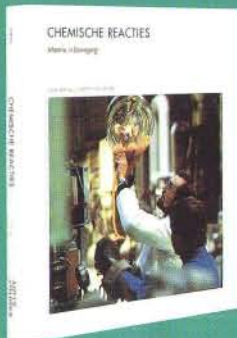


256 pagina's met talrijke afbeeldingen, in vierkleurendruk.
Prijs: f 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.



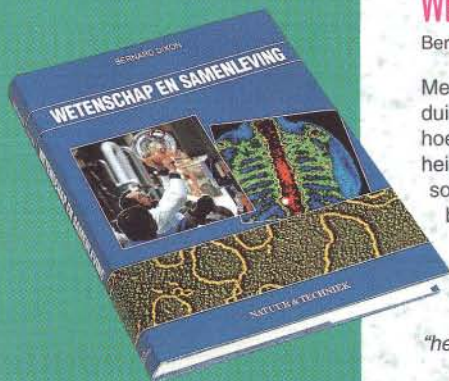
272 pagina's met 217 afbeeldingen, in vierkleurendruk.
Prijs: f 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.





256 pagina's met 218 afbeeldingen.
In vierkleurendruk en zwart/wit.
Prijs: f 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

256 pagina's met meer dan 400 afbeeldingen.
In vierkleurendruk.
Prijs: f 95,- of 1860 F.
Voor abonnees f 79,50 of 1550 F.



256 pagina's met 176 afbeeldingen.
In vierkleurendruk en zwart/wit.
Prijs: f 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.



CHEMISCHE REACTIES

MATERIE IN BEWEGING

Peter Atkins

Aan de hand van vele voorbeelden uit de natuur en de industrie laat Atkins zien welke veranderingen er chemisch en fysisch mogelijk zijn - of het nu over verbranding of over fotosynthese gaat. Met fantastische beelden van chemische reacties wordt zijn verhaal verduidelijkt en toegelicht.

"Atkins marshalls his examples of chemistry well. Complex theoretical concepts that are the basis of the workings of the Universe are laid out in a deceptively simple way."

New Scientist

"with some of the most beautiful illustrations ever to adorn a chemistry book... Atkins' well known skills of communication shine through on every page."

Chemistry in Britain



WETENSCHAP EN SAMENLEVING

Bernard Dixon

Met talloze concrete en veelal recente voorbeelden maakt de auteur duidelijk hoe de natuurwetenschappen zich hebben gericht op de behoeften van zulke uiteenlopende gebieden als defensie, gezondheidszorg, landbouw en technologische vooruitgang, maar ook welke sociale gevolgen en risico's deze ontwikkelingen met zich mee hebben gebracht.

Kortom, dit boek biedt een blik achter de schermen van het natuurwetenschappelijk bedrijf en verschaft de lezer een diepgaand inzicht in de relatie tussen wetenschap en samenleving.

"helder geschreven en prachtig geïllustreerd."

Dr. C. le Pair

Directeur Stichting voor de Technische Wetenschappen

TELECOMMUNICATIE

EEN REVOLUTIE IN SIGNAALOVERDRACHT

John R. Pierce en A. Michael Noll

Pierce en Noll hebben alle twee bij Bells Labs gewerkt en geven ons in dit boek niet alleen een breed overzicht van het verleden - Pierce gaf transistors toen hun definitieve naam - maar ook van alle technische hoogstandjes die ons nu ter beschikking staan om met elkaar te communiceren. Bovendien kijken ze vooruit naar de toekomst van de cellulaire autotelefoon, elektronische post en de beeldtelefoon met tweerichtingsverkeer. Het is een boek dat onze technologische omgeving wat inzichtelijker en doorzichtiger maakt.

"Anyone looking for a basic, readable history of telecommunications, from the telegraph to optical fibre digital links, need look no further."

New Scientist

"De auteurs ... slagen erin dit proces boeiend en wetenschappelijk verantwoord te beschrijven."

Prof. ir. J.L. de Kroes
Technische Universiteit Delft

Kippekrachtcentrale

Een Engels bedrijf, Fibropower, heeft onlangs een commerciële elektriciteitscentrale gebouwd, die vogelmest als brandstof gebruikt. De installatie levert maar liefst 12,5 MW – genoeg elektriciteit voor zo'n 12 500 huishoudens.

De Britse pluimveeindustrie levert per jaar meer dan anderhalf miljoen ton overbodig afval. Uit onderzoek bleek dat dit afval, dat vooral bestaat uit houtspaanders, stro en vogeluitwerpselen, zeer geschikt is als brandstof voor de elektriciteitsproductie. De calorische waarde van het afval is ongeveer de helft van die van kolen. Het afval is gemakkelijk te verwerken en het brandt goed. De brandstof mag een vochtgehalte hebben van hooguit 40 procent. Dat komt goed uit, want voor de goede gezondheid van de vogels moeten de pluimveehouders het vochtgehalte onder de 30 procent houden.

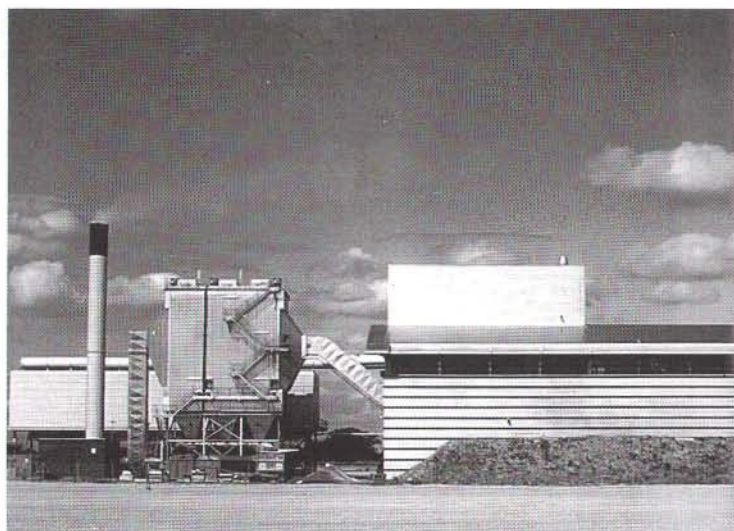
De elektriciteitscentrale staat in het plaatsje Eye, Suffolk. De installatie gebruikt 130 000 ton afval per jaar, een hoeveelheid die vijftig voetbalvelden kan bedekken met een twee meter dikke laag. Dat komt overeen met de afvalproductie door zeventig miljoen kippen. Aangezien braadkippen binnen enkele maanden worden geslacht, komt dat overeen met een constante hoeveelheid van zo'n 12,5 miljoen kippen – de centrale levert ongeveer een watt per kip. De pluimveehouders die binnen vijftig kilometer van de centrale wonen, beschikken over zoveel kippen dat ze de centrale voldoende afval kunnen leveren.

Niet alleen de aanwezigheid van de pluimveeindustrie speelde een rol bij het kiezen van de vestigingsplaats. Uit milieu-vriendelijke overwegingen wilde men de

compacte centrale bouwen op een bestaand industrieel terrein – in dit geval een in onbruik geraakt vliegveld – en in verband met de aanvoer van brandstof in de nabijheid van grotere wegen. Het geluidsniveau van de centrale bedraagt op 100 meter afstand nog geen 50 decibel.

Er zijn legio voordelen aan het gebruik van pluimvee-afval als brandstof. Zo is de aanvoer van het afval het gehele jaar door constant. De centrale gebruikt alleen maar afval van pluimveemesterijen waar de slachtkuikens in grote, verwarmde open hokken verblijven. Het afval uit legbatterijen is ongeschikt voor de energie-opwekking. Het pluimvee-afval bevat weinig zwavel, chloor en zware metalen. Daardoor komen er weinig verontreinigingen vrij bij verbranding. De hoeveelheden stikstofoxiden en zwaveldioxide in het afgas zijn maar fracties (resp. 11% en 2%) van de hoeveelheden die bestaande kolencentrales van vergelijkbare grootte uitstoten.

Tot nog toe slaat men pluimvee-afval op in de open lucht. Soms duurt het negen maanden voordat dit afval tijdens het ploegseizoen als mest kan worden gebruikt. Er ontstaan bij de opslag niet alleen onaangename geuren voor de omgeving. Er is ook sprake van uitloging van nitraten en andere verontreinigende bestanddelen naar het grondwater en aantasting van de atmosfeer door vrijkomend methaan en andere gassen. Daarmee vormt het een ernstig milieuprobleem. Bovendien is er het risico dat salmonella-bacteriën in de voedselketen terechtkomen. De nieuwe centrale onttrekt in ieder geval 130 000 ton aan dit milieubelastend gebruik. Zodra er genoeg afval op de pluimveehouderijen is, brengt men het in afgedekte vrachtwagens naar de centrale. Daar wordt het gestort in opslagputten binnen de brandstofhal. De ovens zuigen lucht uit deze hal aan. Daardoor heerst er een lichte onderdruk en kan de geur van de brandstof zich niet verspreiden over de rest van het bedrijf en de omgeving. De hoge temperatuur in de ovens maakt korte metten met bacteriën en riekende bestanddelen in de lucht.





De kippkrachtcentrale is zeer modern vormgegeven. Via computers houden operators de aanvoer en verbranding van kippemest in de gaten en regelen ze de energievoorziening. (Foto's: Fibropower)

Regelmatig neemt men monsters van de brandstof, die in het laboratorium worden onderzocht. Computer-bestuurde kranen verplaatsen de brandstof naar de transportband die de brandstof naar de oven brengt. In de oven verbrandt de brandstof bij temperaturen boven 850°C. Deze hoge verbrandingstemperatuur zorgt voor een complete verbranding van alle geurstoffen en organisch materiaal in het afval. Net zoals bij andere centrales, verhit de oven het water in een stoomketel. De ontstane stoom drijft een stoomturbine aan die is verbonden met een elektriciteitsgenerator die 14,2 MW levert. Een deel van dat vermogen is nodig voor de centrale zelf. Uit-

eindelijk levert de centrale 12,5 MW via een 33-kV-stroomkabel die is verbonden met het lokale onderstation.

De uitgestoten stoom passeert een luchtgekoelde condensor buiten het hoofdgebouw. Daar gaat de stoom over in water, dat opnieuw in de stoomketel kan worden gebruikt. De uitstoot van de oven bestaat uit stoom, dat afkomstig is van het water in de brandstof, en kleine hoeveelheden van de gassen die doorgaans ook vrijkomen bij de verbranding van fossiele brandstof. De stoom is enkel zichtbaar onder bepaalde weersomstandigheden. De as die achterblijft op de bodem van de oven, wordt getransporteerd naar afgesloten mobiele containers in de ashal. Een elektrostatische scheider naast de schoorsteen verwijdert de vlieg-as uit de afvoergassen. De twee typen as verhandelt men als milieuvriendelijke stikstofvrije, fosfaat- en kaliumrijke mest. De Britse overheid heeft de as onderzocht en kwam tot de conclusie dat de voedingswaarde van deze mest veel beter is dan die van de gebruikelijke 'basic slag'-as die ontstaat in hoogovens.

Het Britse ministerie voor energie stimuleert de bouw van elektriciteitscentrales die geen fossiele brandstof gebruiken. De centrale in Eye is het grootste project dat in dit kader is uitgevoerd. Deze maand opent het zusterbedrijf van Fibropower een vergelijkbare centrale in Gleanford, South Humberside. Die installatie, die 13,5 MW aan elektriciteit levert, zal jaarlijks 140 000 ton pluimvee-afval verbruiken. De 'kippekrachtcentrales' combineren het leveren van energie aan het oplossen van een milieuprobleem. Het mes snijdt aan twee kanten. Misschien komen er nog eens zulke centrales bij Aalst en Barneveld.

(Bron: Fibropower Ltd/Gavin Anderson & Company, Londen)



Computer Algebra Nederland

Kruislaan 413 tel: 020 5926050
1098 SJ fax: 020 5924199
Amsterdam E-mail: can@can.nl

Computerpakketten die wiskunde doen, zoals het oplossen van vergelijkingen, differentiëren en integreren, kunnen het werk van wetenschappers en ingenieurs enorm verlichten. Rekenen met de computer is niet alleen sneller dan met de hand, maar ook betrouwbaarder; een computer maakt geen rekenfouten.

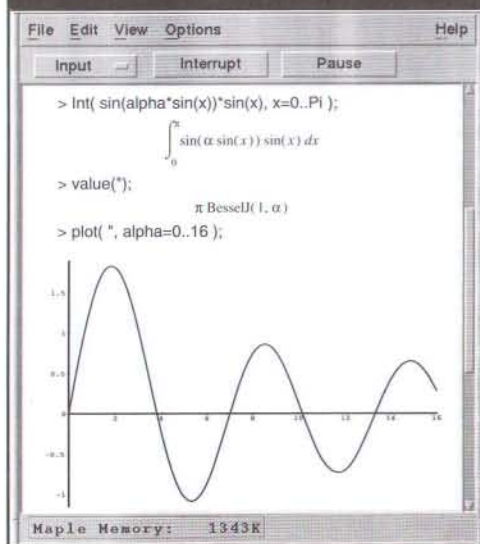
Maple is een pakket dat symbolisch en numeriek rekenen combineert met grafische mogelijkheden. Maple biedt een flexibele "high level" programmeertaal en is voor zien van een uitgebreide bibliotheek van wiskundige functies.

Aanbieding!

Tot eind november 1993, Macintosh en PC (MS-DOS/Windows) voor f 985,-, workstation versies voor f 1475,- (prijzen ex. BTW).

Maple V

Het Computer Algebra Systeem



AUTEURS

Prof dr ir J.J. Steggerda ('Goud') werd geboren op 20 januari 1929 in Den Haag. Hij studeerde chemische technologie aan de TU te Delft en rondde zijn studie in 1955 af met een promotie. Daarna verrichtte hij zeven jaar research bij Staatsmijnen te Geleen. Sinds 1962 is Steggerda hoogleraar anorganische chemie aan de Katholieke Universiteit Nijmegen.

Drs L.H.E. Maat ('Drugs') studeerde van 1964 tot 1972 organische chemie aan de Amsterdamse Vrije Universiteit. Hij werd hij leraar scheikunde en is nu verbonden aan het Bonhoeffer College te Castricum. Bovendien schrijft hij in opdracht van de VU brochures over scheikundige onderwerpen. Maat werd op 23 mei 1946 in Groningen geboren.

Drs A.D. Pluim Mentz ('Drugs') werd op 8 juni 1953 in Amsterdam geboren. Zij studeerde van 1971 tot 1983 scheikunde (biochemie) aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Tot 1991 was Pluim Mentz docente scheikunde aan s.g. "De Schans" te Amsterdam. Momenteel is ze medewerkster public relations aan de VU.

Prof dr S.B.J. Menken ('Soortvorming') werd op 6 april 1951 in Leiden geboren. Hij studeerde biologie in zijn geboortestad en promoveerde er in 1980. Hij was enkele jaren universitair docent aan de Vrije Universiteit te Amsterdam en maakte in 1984 de overstap naar de Universiteit van Amsterdam. Daar werd hij in 1987 universitair hoofddocent en in 1990 hoogleraar.

Prof dr G.B.A. Stoelinga ('Groei'), geboren in 1929 in Breda, is emeritus hoogleraar kindergeneeskunde. Hij studeerde in Utrecht en kreeg zijn opleiding tot kinderarts in de ziekenhuizen Johannes de Deo te Den Haag en St. Elisabeth te Tilburg. Sinds 1960 werkte hij als kinderarts in Nijmegen, in 1974 werd hij er hoogleraar en van 1984 tot 1990 was hij er tevens hoofd van het Instituut voor Kindergeneeskunde. Van 1990 tot 1992 was Stoelinga decaan van de medische faculteit.

Prof dr ir H.C.A. van Tilborg ('Foutencorrectie') werd op 1 september 1947 geboren te Tilburg. Hij studeerde wiskunde aan de TU Eindhoven en promoveerde daar in 1976. Vanuit Eindhoven was hij gasthoogleraar aan Caltech, de KU Leuven en de Universiteit van Pretoria. Hij bezocht jaren achtereen het IBM Almaden Research Center en was hoogleraar aan de Open Universiteit te Heerlen. Sinds vorig jaar is Van Tilborg hoogleraar in Eindhoven.

Evolutie

Het kost, aldus Menken in zijn bijdrage over het ontstaan van biologische soorten (pag. 796), vele duizenden generaties na het gescheiden raken van twee deelpopulaties van een soort, voordat ze genetisch zo ver van elkaar verschillen, dat ze geen gezamenlijk vruchtbaar nageslacht meer kunnen krijgen – totdat het, met andere woorden, twee verschillende soorten zijn geworden. Het van elkaar gescheiden raken kan, maar hoeft niet te betekenen dat er geografische barrières zijn ontstaan, zoals zeestraten of bergketens. Het is ook mogelijk dat varianten van een soort zich op verschillende voedselbronnen richten en elkaar gewoon niet meer tegenkomen. Dat alles gebeurt zoals de hele evolutie, ongeacht, door toevallige mutaties waarvan een zeer groot deel een nadeel geeft, een nog groter deel neutraal is, en een klein deel tot betere aanpassing leidt. Nadelige mutaties leiden tot geringere voortplantingskansen en verdwijnen uit de populatie. Betere aanpassingen blijven.

Er ontstaat een merkwaardig probleem als we het genoemde artikel afzetten tegen het verhaal dat Stoelinga, beginnend op pag. 816, vertelt over de factoren die de menselijke groei bepalen en de mogelijkheden daar het een en ander aan te corrigeren. Groei, lichaamslengte en andere zaken die daarmee samenhangen, zijn vormen van aanpassing die genetisch zijn vastgelegd. Het is inmiddels in onze samenleving niet eens meer goed mogelijk anders dan speculatief in het geval van lichaamslengte te zeggen waaraan dat precies een aanpassing is (de toegenomen lengte is beslist géén aanpassing aan de eisen van het basketbal), maar we kunnen er redelijk zeker van zijn dat een bepaalde lengte in natuurlijke omstandigheden voordelen heeft gehad. Een voorbeeld van zo'n voordeel geeft het artikel zelf: een foetus zou veel sneller kunnen groeien, maar dat zou zulke grote problemen bij de geboorte geven, dat het voor de soort (om maar niet te spreken van het individu) een groot nadeel zou zijn.

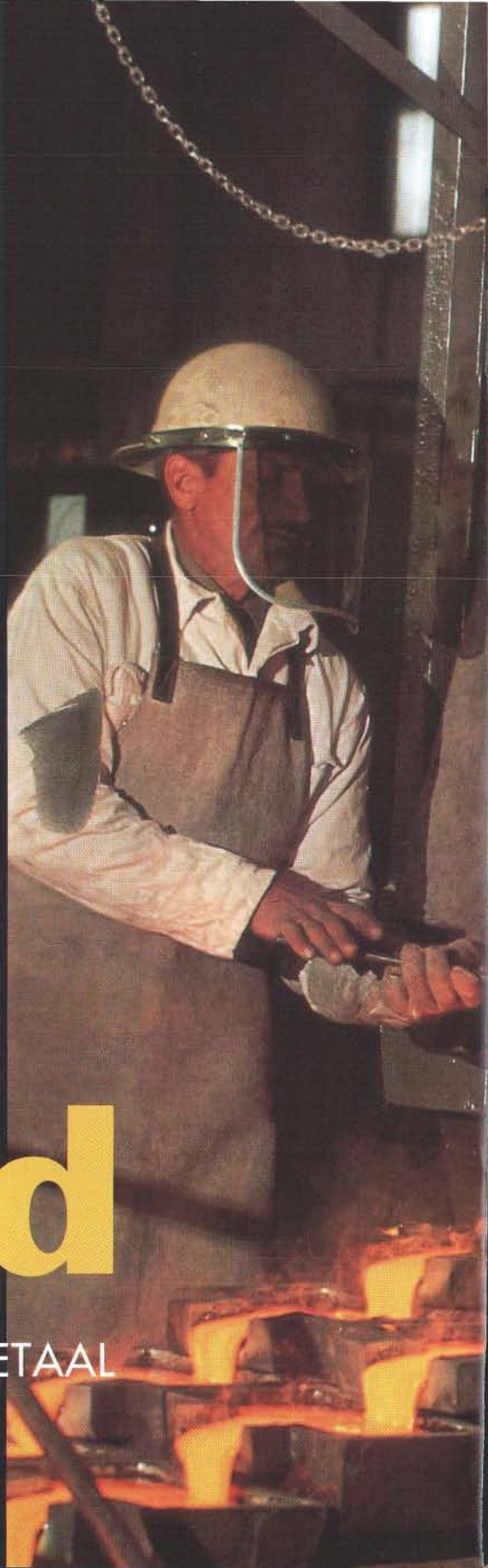
Wat doen we nu eigenlijk wanneer we zulke zaken (en er zijn vele voorbeelden van beperkte aangepastheid die in een primitieve samenleving tot vroege dood en dus weinig voortplanting zouden leiden) geneeskundig verhelpen? Er is geen sprake van dat we zoiets, gegeven de mogelijkheden, ook zouden kunnen nalaten; dat zou een misdaad tegen het betrokken individu zijn, heel dicht bij moord. Maar toch, we houden, of brengen zelfs, genetisch materiaal in omloop, dat in 'natuurlijke' omstandigheden de overlevingskans zou verkleinen. Het 'natuurlijk' staat hier tussen aanhalingstekens omdat er ook niets onnatuurlijks is aan het vermogen tot zulke ingrepen te komen en een samenleving zo in te richten dat de overlevingskansen goed blijven.

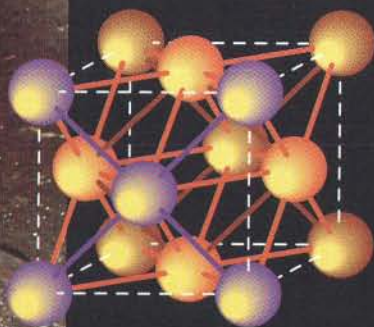
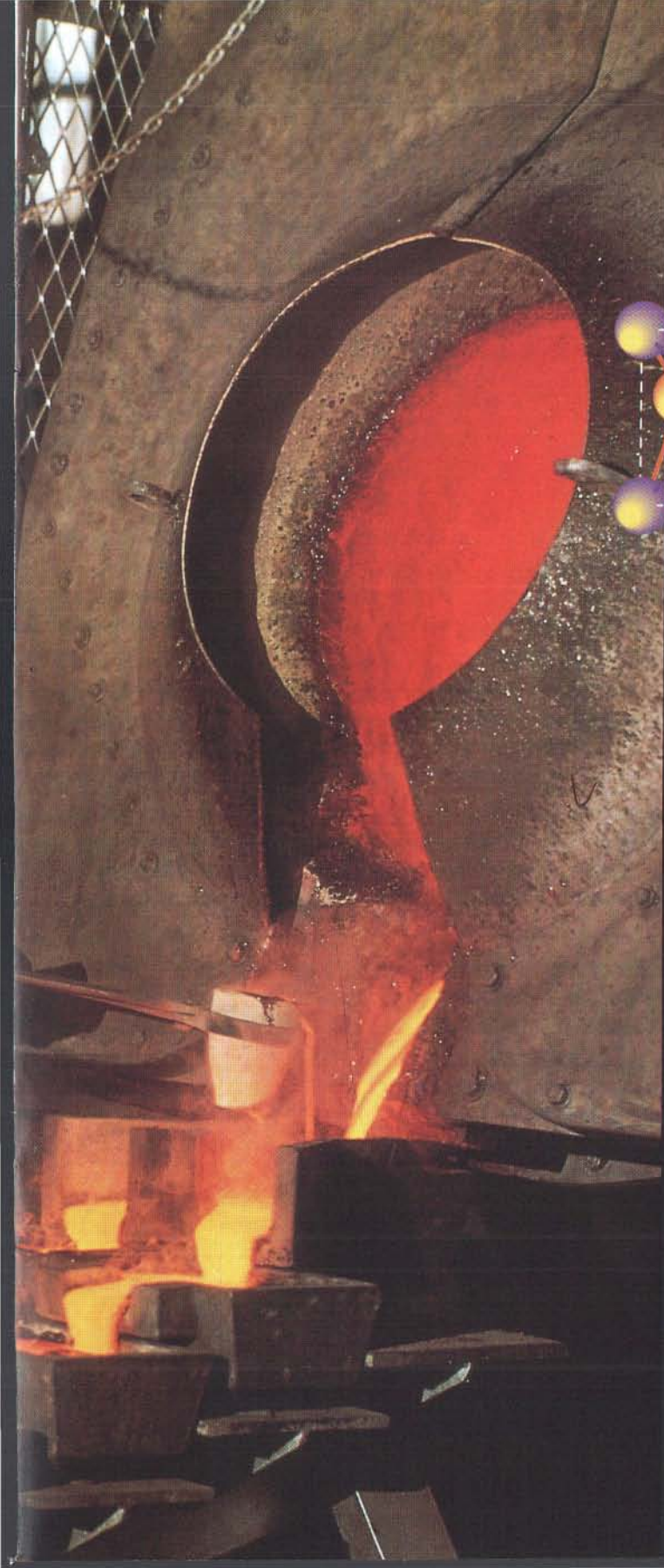
Zo lang dat vermogen de kans krijgt, lijkt er eigenlijk ook in evolutionair opzicht weinig of niets aan de hand. De behandelde mensen kunnen uitstekend zijn aangepast aan hun oecologische niche. Het probleem wordt acuut als er weer andere menselijke vermogens worden gebruikt, namelijk om de gunstige omstandigheden te vernietigen. Plaatselijk gebeurt dat voortdurend. Zo lang het plaatselijk blijft, zal de soort overleven, al wordt die genetisch verzwakt.

Goud ziet er met zijn schijnbaar eeuwigdurende glans zo edel en chemisch onaantastbaar uit. Toch kan het alleen dankzij zijn chemische reactiviteit uit gedolven gesteente worden gewonnen en geraffineerd. Die weg is lang en kostbaar, want in duizend kilogram van het 'rijke' gesteente zitten maar enkele grammen goud. Eeuwen voordat iemand ook maar dacht aan recycling van materialen, werd dat natuurlijk al gedaan met versleten munten en juwelen. Ook dat kon alleen maar door gebruik te maken van die chemische reactiviteit. Het gebruik van goud beperkt zich niet tot de spectaculaire toepassingen in munten en sieraden. Zo is er een snel stijgend goudgebruik in de elektronische industrie. Reumapatiënten vinden steeds vaker baat bij therapieën met nieuwe goudverbindingen.

Goud

HET MYSTERIEUZE METAAL





Gewonnen goud is verontreinigd met tal van andere metalen. Na raffinage giet men vloeibaar, gezuiverd goud in gietvormen. Goud is een zwaar, goed vervormbaar en goed geleidend metaal. De atomen rangschikken zich in het metaal in de vlakkengecentreerde kubische stapeling.

J.J. Steggerda

*Faculteit Natuurwetenschappen,
Katholieke Universiteit
Nijmegen*

De klassieke methode van goudwinning speelde zich af op de afzettingen langs snel stromende beken. De goudzoekers spoelden het glinsterende zand in kuipen met water en sorteerden de goudklompjes (*nuggets*) met de hand uit. De oudst bekende, Egyptische berichten hierover dateren van 3800 v.Chr. Duizenden jaren bleef deze methode in zwang. In Zuid-Afrika was de grootste nugget die ooit werd gerapporteerd vijf kilogram zwaar. Dat is nog niets vergeleken met de zwaarste nugget uit Australië, die een massa had van 64,7 kilogram! De laatste tot de verbeelding sprekende episode uit de geschiedenis van de goud delving was de tijd van de 'gold rushes' in de tweede helft van de 19e eeuw in het wilde westen van de VS en in Australië.

Anno 1993 komt circa driekwart van de wereldgoudproductie uit de mijnbouw, voornamelijk uit Zuid-Afrika. Het belangrijkste wingebied ligt bij Witwatersrand, ten zuiden van Johannesburg, waar de goudmijnen reiken tot diepten van drie kilometer. In 1990 haalde men daar zeshonderd-duizend kilogram goud naar boven. In die mijnen is per ton gesteente circa vijf gram goud aanwezig. In Brazilië zijn op enige plaatsen de kosten van het delven van het erts zo laag, dat daar erts met slechts 0,65 gram goud per ton gesteente rendabel wordt geëxploiteerd.

De goudwinning

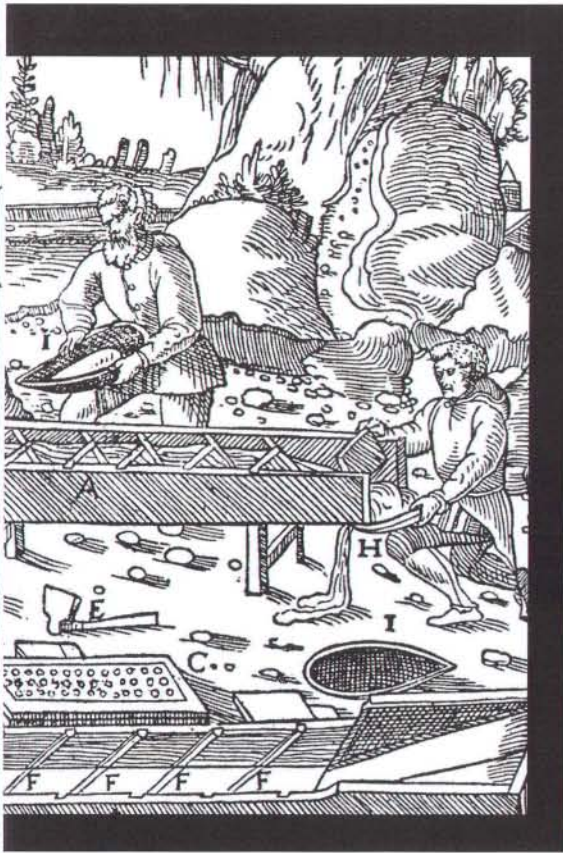
In tegenstelling tot de meeste andere metalen, die als oxiden of sulfiden in ertsen zitten, komt goud in ertsen als metaal voor (gedegen goud). Het is daarbij wel gemengd met tien tot twintig procent zilver en kleinere hoeveelheden aan andere metalen. De zeer kleine deeltjes van de goudlegeringen zijn vergroeid met het ganggesteente. Om zuiver en voor de han-

1. Volgens de Griekse mythologie reisden Jason en de Argonauten naar Colchis, waar zij het Gulden Vlies aantroffen. Een afbeelding in het boek *De Re Metallica* van Agricola toont hoe een schapevacht (A) in een beek ligt. Waarschijnlijk was dit een gangbare methode om zware deeltjes uit het snelstromende water af te scheiden.



del geschikt goud uit het ruwe erts te halen, zijn er diverse handelingen nodig.

In dit artikel zullen we een blik werpen op de diverse chemische en fysische processen die nodig zijn om uit gouderts zuiver goud te verkrijgen. De eerste bewerking bestaat uit het fijnmalen van het erts. Vervolgens scheidt men de deeltjes waarmee goudpartikeltjes zijn vergroeid van het goudarme deel van het gesteente. Die bewerking staat bekend als de *concentratie* van het erts. De volgende stap is de *extractie* van de edele metalen, waarbij het edelmetaal wordt gescheiden van het aangehechte gesteente. Tenslotte volgt een *raffinage*-proces, dat zorgt voor de scheiding van zuiver goud van de begeleidende metalen zoals zilver, koper en ijzer. Voor de handel giet men goudstaven met een massa van 12,5 kilogram, die een zuiverheid hebben van minstens 99,5% (*good delivery quality*).



2. Agricola beschreef uitvoerige de vele manieren waarop men goud en andere metalen uit stromende wateren en ertsen isoleerde. Zo toont hij een groot aantal constructies waarin men goudhoudend erts van lichtere bestanddelen scheidt. Via een open leiding (G) stroomt het water in een bak met gaten (C). Vervolgens stroomt het door een bak met dwarsbalken (F) waarna het in een zeef (I) terechtkomt (H).

Chaotisch goud

Een ingewikkeld samenspel van economische en monetaire krachten bepaalt de prijs van goud. Op dit ogenblik is de prijs heel laag. Eind 1992 verkocht de Nederlandse Bank 400 ton van zijn goudvoorraad voor f18800,- per kilogram. Dat is ongeveer \$ 345,- per troy ounce (een troy ounce is circa 31 gram, in de financiële berichten staat de goudprijs steeds zo ver-

Concentratie en extractie

Bij het fijnmalen van het gedolven gouderts ontstaan er fijne deeltjes met een doorsnee van een tiende millimeter. Doordat de korreltjes waaraan edelmetaal vastzit een veel hoger soortelijk gewicht hebben, zijn ze gemakkelijk te scheiden van de andere deeltjes. In goten met een snelle waterstroom worden de lichte deeltjes wél en de zware deeltjes niet meegevoerd. Deze techniek is al minstens zesduizend jaar oud. Ze is te zien op afbeeldingen uit het oude Egyptische rijk en uit de Europese Middeleeuwen. De apparatuur is in de loop der eeuwen natuurlijk sterk verbeterd en aangepast aan de verwerking van grotere hoeveelheden.

Veel ertsen bevatten zwavel-, seleen- en antimoonthoudende mineralen die zijn vergroeid met de goudkorreltjes. In die gevallen kan men met succes *flotatie* toepassen als concentratiemethode. Daartoe voegt men aan een slurrie van het fijngemalen erts in water, een zogenoemde collectorolie toe. Deze olie bevat bepaalde oppervlakte-actieve stoffen (dithiocarbonaten of thiofosfaten) die adsorberen aan het oppervlak van de genoemde mineraaldeeltjes. Deze deeltjes worden daardoor waterafstotend. Vervolgens voegt men een schuimvormer toe en blaast men via de bodem lucht



meld). Dat was dicht bij een historisch dieptepunt van de goudprijs. Enkele maanden later steeg

de prijs onverwachts enorm en bereikte een waarde van meer dan \$ 400,- per troy ounce.

in het flotatievat. Als de slurrie gaat schuimen, hechten de hydrofobe deeltjes zich aan de luchtbelletjes en komen ze bovendrijven, waarna ze kunnen worden afgescheiden van de rest van de slurrie.

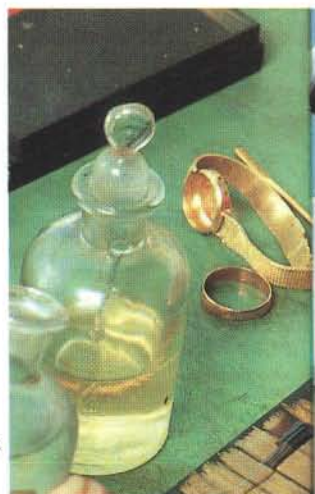
De kleine edelmetalkorreltjes zijn vergroeid met het gesteente dat voornamelijk uit silikaten bestaat. Om de edelmetalen van dat gesteente te scheiden, lost men de metalen op. Het zogenaamde ganggesteente blijft als een onoplosbaar residu achter. Voor het oplossen van de edelmetalen komen twee belangrijke procédés in aanmerking, namelijk het amalgaam- en het cyanideproces.

Het amalgaamproces

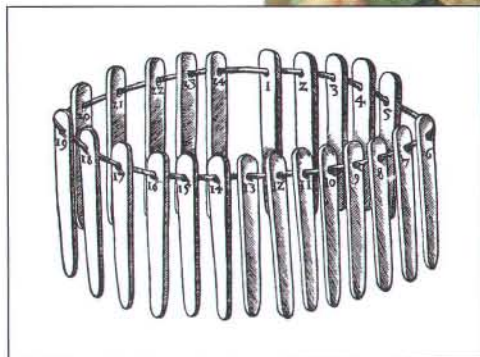
Vele metalen, zoals natrium, zink, lood, goud, zilver en koper, reageren snel met kwik tot vloeibare of vaste legeringen. Zulke legeringen staan bekend als amalgamen. Veel mensen hebben amalgamen van zilver, tin, koper en zink als vulling in hun kiezen. Goud, zilver en koper vormen snel amalgamen. Pas dus op voor kwik in de nabijheid van gouden voorwerpen!

Het gemak waarmee edelmetalen amalgamen vormen, was waarschijnlijk al in de Romeinse tijd bekend. Het is sindsdien toegepast bij de extractie van edele metalen uit hun ert-

sen. Bij de klassieke bepaling van het goudgehalte brengt de essayeur met een metalen voorwerp een streek aan op een toetssteen (kiezellei) (5). Ook zet hij een aantal streken met de zogenaamde toetsnaalden (6), die dezelfde goudkleur hebben en waarvan de samenstelling precies bekend is. Vervolgens druppelt hij hier verdund koningswater overheen. Hoe lager het goudgehalte is, des te donkerder de streek wordt.



5



6



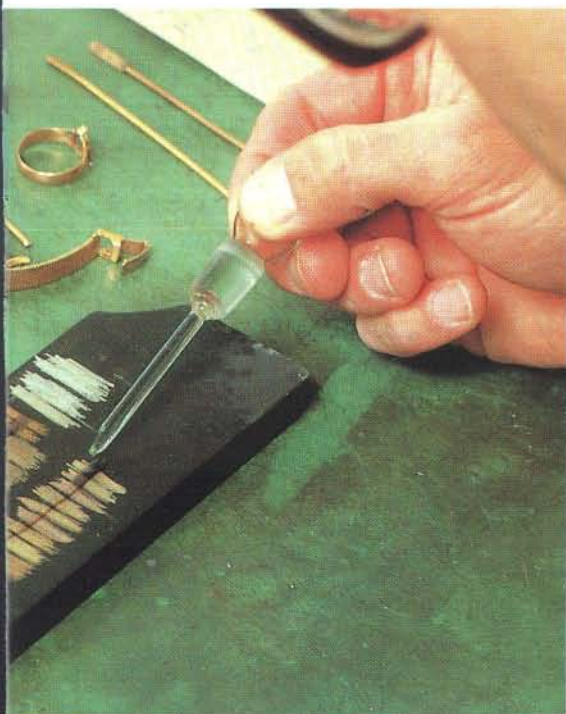
4

4. Goud komt vooral in gedegen vorm voor in diverse gesteenten. Het is

vaak verontreinigd met zilver, lood, koper, ijzer en platina.

sen. Het goudbevattende gesteente brengt men daartoe in contact met het vloeibare kwik. Als de edele metalen zijn opgelost, kan het zware, vloeibare amalgaam eenvoudig worden afgescheiden van het onopgelost gebleven gesteente. Door verhitting van het amalgaam, verdampst het kwik en blijft er een mengsel van edele metalen, waaronder goud en zilver, als residu achter. Het gedestilleerde kwik kan men opnieuw gebruiken voor de extractie van een volgende lading goudhoudend gesteente.

Dit proces voerde men vroeger onder primitieve omstandigheden uit. Het kwik vormde natuurlijk een grote bedreiging voor de gezondheid van de arbeiders en voor het milieu. Ook vandaag de dag, met betere apparatuur, is het een riskant proces. Meestal, maar niet altijd, blijkt het mogelijk en ook economisch aantrekkelijk om het amalgaamproces te vervangen door het cyanideproces.



Het cyanideproces

Het cyanideproces is in 1887 voor het eerst gebruikt. Het is gebaseerd op het opmerkelijke feit dat goud, evenals zilver en koper, reageert met een oplossing van natriumcyanide en zuurstof uit de lucht (reactie A in afb. 8).

Met de 'edelheid' van goud bedoelt men meestal de resistentie tegen corrosie aan de lucht. Bij corrosiereacties ontstaan gewoonlijk oxiden, hydroxiden of carbonaten van een metaal. Klaarblijkelijk leveren corrosiereacties onder atmosferische omstandigheden onvoldoende drijvende kracht voor de aantasting van goud. Daarentegen is het dicyano-auraat, $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, een zeer stabiele verbinding. De vermelde reactie verloopt daardoor volledig en snel naar rechts. In de praktijk van het cyanideproces, roert men het ertsconcentraat in een natriumcyanide-oplossing waar lucht door borrelt. Als de edelmetalen zijn opgelost, filtreert men het gesteente af.

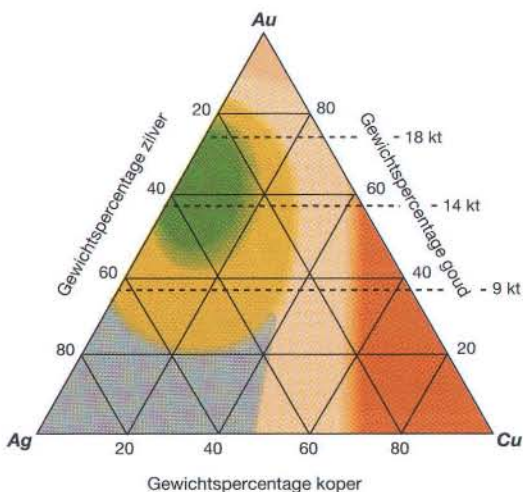
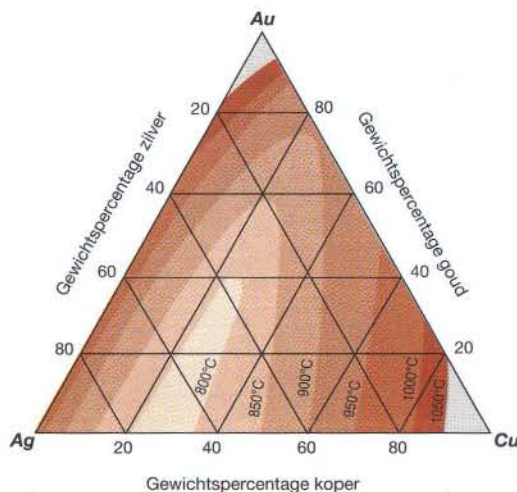
In een moderne variant van het cyanideproces voegt men aan de slurrie brokken actieve kool toe. Het dicyano-auraat adsorbeert aan de kool. De stukken actieve kool zijn heel poreus en drijven op de vloeistof. Ze kunnen er gemakkelijk uit worden gehaald. De aan de kool geadsorbeerde goudverbinding extraheert men er daarna uit met een oplossing van natrium-

7. Door legeren verkrijgt men goudhoudende metalen met bepaalde eigen-

schappen en kleur. Zo bevatten gouden munten 10% koper om ze harder

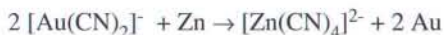
en slijtvaster te maken. De smelttemperatuur en de kleur van legeringen

van zilver, koper en goud zijn hier in driehoeksdigrammen weergegeven.



cyanide. Op deze manier ontstaat een tamelijk geconcentreerde goudoplossing en bespaart men de kosten voor het affiltreren van grote hoeveelheden gesteente.

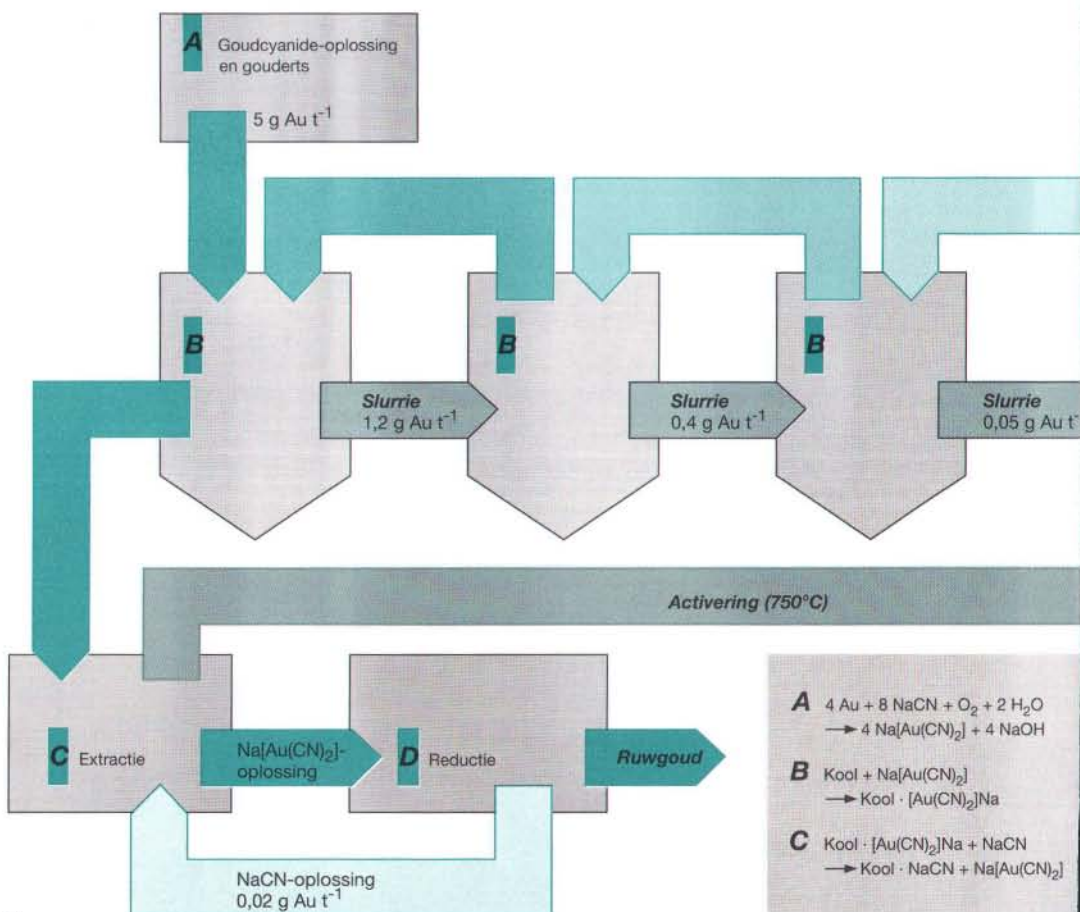
Voor het terugwinnen van de edele metalen uit de oplossing, is een reductiereactie met zink- of aluminiumpoeder nodig. Voor de combinatie goud en zink geldt dan de volgende chemische reactievergelijking:



Er slaat een fijn verdeelde legering neer, die meestal zo'n tachtig procent goud bevat. Voor de rest bevat de legering voornamelijk zilver en kleinere hoeveelheden koper, lood, ijzer enzovoort. Dit mengsel (vaak *bullion* genoemd) wordt gesmolten en dan in staven gegoten voor het transport naar de raffinaderij,

Een kostbaar element

Goud (aatomnummer 79, atoommassa 197, soortelijke massa $19,3 \text{ kg dm}^{-3}$, smeltpunt 1064°C , kookpunt 2966°C) is het best bekend als glanzend geel metaal in sieraden en munten. Het metaal is erg inert, het reageert niet zo gemakkelijk. Toch zijn er veel chemische verbindingen van goud bekend. De belangrijkste hebben het goud in de oxydatietoestand I of III. Vrije Au^+ - of Au^{3+} -ionen zijn niet stabiel in water. Om stabiliteit te krijgen, moet het goudion worden omringd door anorganische of organische liganden. Liganden zijn atomen, ionen of molekulen, die aan een metaalion zijn verbonden.



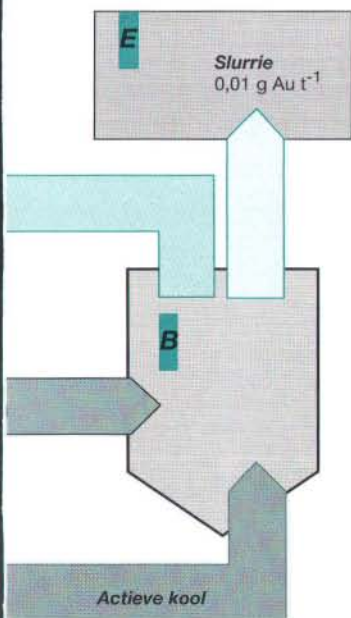
INTERMEZZO I

Eenwaardig goud is meestal omgeven door twee liganden, die in het complex met het goudion op één lijn liggen. Bekende voorbeelden van complexen van eenwaardig goud zijn $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ en $[\text{AuCl}_2]^-$. Bij driewaardig goud is er meestal sprake van vier liganden, die in het complex de hoekpunten van een vierkant innemen, met het goudion in het centrum van het vlak. Driewaardig goud komt voor in complexen zoals $[\text{AuCl}_4]^-$ en $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$.

In de oceanen zit een grote hoeveelheid goud. Een laatste serieuze poging om dat goud te winnen, is omstreeks 1920 uitgevoerd door de bekende Duitse chemicus Fritz Haber. Geweld door een slecht geweten vanwege zijn actieve rol in de ontwikke-

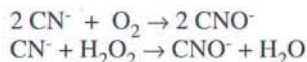
ling van gifgassen tijdens de Eerste Wereldoorlog, heeft hij zo een bijdrage willen leveren aan de delging van de Duitse oorlogsschulden. Dat is jammerlijk mislukt. De goudconcentratie in zeewater is zo laag (ongeveer $10^{-9} \text{ g dm}^{-3}$) dat het niet lonend is om het daaruit te winnen.

Sommige planten zoals *Impatiens balsamina* (tuinbalsamien) kunnen $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ uit zeer verdunde oplossingen opnemen en concentreren in het plantenweefsel. Ook enkele algensoorten zijn daartoe in staat. Misschien hebben die een rol gespeeld bij de vorming van de goudafzettingen in de biosfeer, zoals we die nu aantreffen.

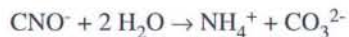


8. Bij de moderne goudproductie vermenigt men allereerst fijn gemalen gouderts met een natriumcyanide-oplossing. In een viertal vaten roert men oplossingen met diverse goudconcentraties met brokken actieve kool. Kool waaraan goud is geabsorbeerd, brengt men naar een vat met een hogere goudconcentratie. Vervolgens extraheert men het edelmetaal uit de met goud verrijkte kool met een warme oplossing van natriumcyanide, waarna door middel van reductie met zinkpoeder metallisch goud wordt verkregen.

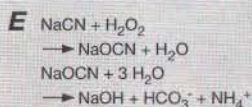
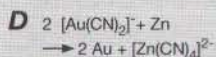
die meestal niet op de locatie van de mijn is gelegen. Voor de ongeveer zestig goudmijnen in Zuid-Afrika is er één grote raffinaderij. Bij de mijn rest er ten slotte nog het karwei om de agressieve en zeer giftige cyanidehoudende vloeistof, die achterblijft na afscheiding van de edele metalen daaruit, onschadelijk te maken. Dat gebeurt door oxydatie van het cyanide met lucht of met waterstofperoxide:



Het gevormde cyanaat (CNO^-) wordt snel gehydrolyseerd tot ammoniumcarbonaat:



Na deze bewerking kan de vloeistof zonder veel problemen worden geloosd.

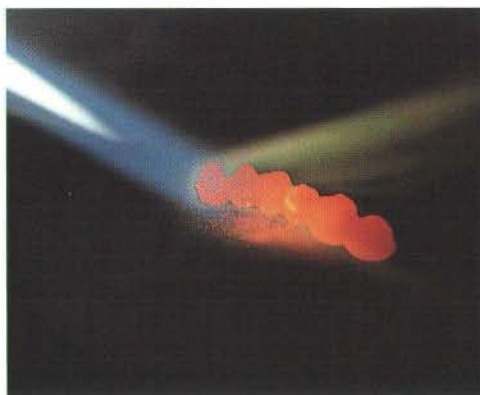


9. Bij elektrolyse verkrijgt men goud met een hoge graad van zuiverheid aan de kathode.



Geraffineerd goud

In de raffinaderij wordt uit het onzuivere metaal dat uit de mijnen komt, *good-delivery-quality*-goud gemaakt, met een zuiverheid van 99,5%. Voor speciale toepassingen kan men een extra zuivere kwaliteit produceren (99,99%). Meestal recyclet men in de raffinaderij ook oude sieraden, munten en dergelijke. Het raffinageproces moet zorgvuldig worden aangepast aan de aard en de hoeveelheden van de bijgemengde metalen, zoals zilver, koper, nikkel, ijzer. Goede analytisch-chemische meetmethoden zijn daarom essentieel.



10

BEZIENSWAARDIG



In het Tropenmuseum in Amsterdam is tot 2 januari 1994 de tentoonstelling *Eeuwige schoonheid* te bezichtigen. Tal van sieraden van oud-Javaans goud zijn daar te bewonderen, die dateren uit de periode tussen de derde en de zestiende eeuw na Christus. Dat is de periode voordat de islam zijn intrede in Java deed. In een Berlijns laboratorium is de verzameling oud-Javaanse gouden sieraden onderzocht. Tot de gebruikte analysetechnieken behoren de bepaling van het elektrisch geleidingsvermogen en elektronenmicroscopie. Bij die laatste techniek ontstaan tevens röntgenstralen, die informatie leveren over de chemische samenstelling van de goudlegering. Het oud-Javaanse goud blijkt weinig of geen koper te bevatten, maar het bevat wel twintig tot veertig procent zilver. Dat bewijst dat het goud niet uit rivieren of beken is gewonnen, anders zou het minder zilver bevatten. De vraag is nu, of het zil-

ver van nature in het goud aanwezig was of dat goudsmeden goud met zilver hebben gelegerd. Het ontbreekt de onderzoekers helaas aan goed vergelijkingsmateriaal. Het goud in de sieraden is niet gewonnen op Java. De Javanen verkregen goud van Sumatra en Kalimantan. Een pronkstuk van de tentoonstelling is een gouden dodenmasker, dat enkele eeuwen na Christus is vervaardigd uit kwetsbaar goudfolie. Het heeft een lengte van 22 centimeter en een breedte van 17 centimeter.

11

780

Sinds onheuglijke tijden gebruikte men voor de raffinage van goud een procédé waarbij het onzuivere metaal smelt in een poreuze keramische pot. Zo'n pot noemde men een *cupel*, het procédé staat nog steeds bekend als *cupellen*. De minder edele metalen zoals zilver en koper reageren met zuurstof uit de lucht en de daarbij gevormde oxiden worden door de poriën van de pot opgenomen. Na enige tijd blijft in de smelt dan het zuivere goud over, dat uit de pot wordt geschonken.

Het klassieke cupellen is nu bijna overal vervangen door meer efficiënte processen. Het meest gangbaar is het Miller-proces, waarbij

minder edele metalen. De gevormde chloriden vervluchtigen of drijven door hun vrij lage soortelijke massa op het gesmolten metaal. Als het zilveragehalte van de smelt tot beneden 0,4% is gedaald, is het zaak om het chloreren te beëindigen. Goud reageert namelijk, hoewel langzaam, ook met chloor en er ontstaat dan goudchloride. Dit maakt een verdere zuivering economisch onaantrekkelijk. De bovendrijvende chloriden schept men van de vloeistof af tot het goudoppervlak schoon is. Dan giet men het goud in staven van 12,5 kilogram. Nadat het goudgehalte op de staven is gestempeld, zijn ze voor de verkoop gereed.

10. Duizenden jaren voor Christus gebruikte men al goud in de tandheelkunde. Tegenwoordig komt jaarlijks zo'n zestig ton goud terecht in vullingen, kronen en bruggen. Deze worden steeds beter, dankzij moderne technieken, zoals poedermetallurgie en elektrodepositie, en de ontwikkeling van nieuwe keramische materialen en goudlegeringen.

12. Na het verwijderen van minder edele metalen, kan men het gesmolten goud overgieten in een geschikte vorm.



12

men porties van circa vijfhonderd kilogram bullion smelt in met keramiek gevoerde grafieten kroezen bij circa 1150°C. Via keramische pijpen blaast men chloorgas door de smelt. Het chloor reageert bij die hoge temperatuur vlot met zilver, koper en de andere,

Voor sommige toepassingen, met name in de elektronische industrie, is een zuiverheid van 99,99% of hoger vereist. Om een dergelijke hoge graad van zuiverheid te verkrijgen, gebruikt men elektrolytische raffinage. Daarvoor is een hete, geconcentreerde oplossing

Geneeskrachtig goud

Al in prehistorische tijden beproefde men goud als geneesmiddel. Bijna altijd bleek het kwakzalverij met teleurstellende of zelfs dodelijke gevolgen. Maar het geloof in de magische krachten van het edele metaal bleef hardnekkig bestaan. In de vorige eeuw gebruikte men goudchloride nog bij de behandeling van syfilis en alcoholisme.

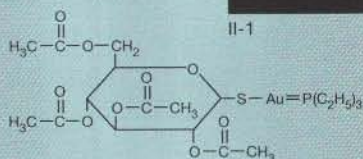
De moderne geschiedenis van goud als geneesmiddel begint bij Robert Koch, die omstreeks 1890 ontdekte dat goudverbindingen dodelijk waren voor de tuberkelbaci. Maar ook deze serieuze ontdekking bleek geen bruikbaar medicijn tegen tbc op te leveren. Omdat men echter een verband vermoedde tussen tbc en reumatiek, is er tenslotte toch een belangrijke medische toepassing gevonden.

Verbindingen van eenwaardig goud worden tegenwoordig gebruikt bij de behandeling van

II-1 en II-2. Vrijwel iedere huisarts heeft in zijn praktijk enkele patiënten die leiden aan reumatische artritis. Bij deze ziekte ontstaat schade aan gewrichten (II-1). Men kan de ziekte niet genezen, maar wel midelen toedienen die de pijn verlichten. Het anti-reumamiddel auranofine (II-2) biedt in sommige gevallen uitkomst.

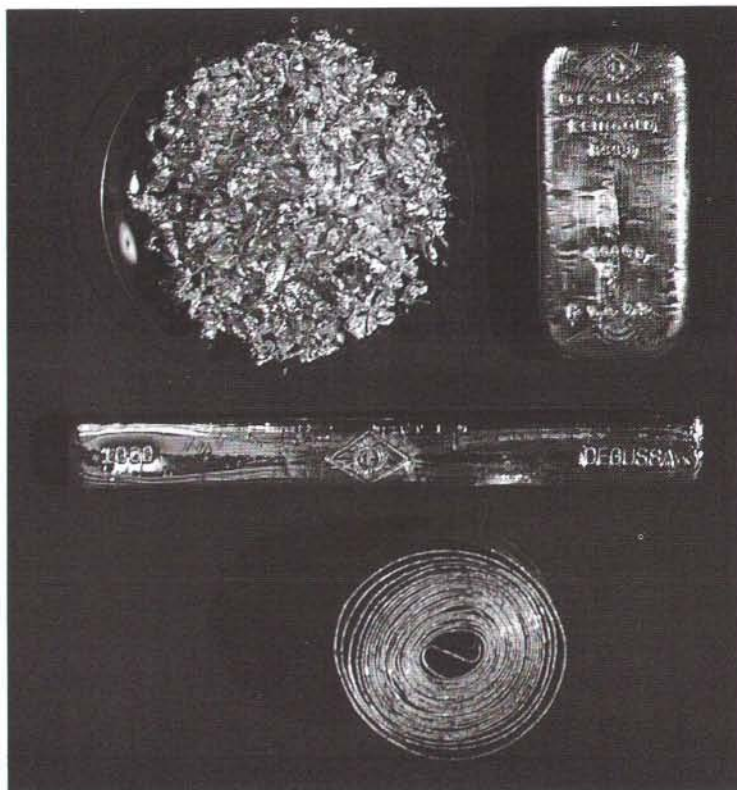


II-1



II-2

13. Goud is beschikbaar in verschillende vormen. Naast de bekende goudbaren en goudstaven zijn er, vooral voor de industrie, ook goudband en goudgranules. Granules ontstaan als vloeibaar goud in water wordt gegoten.



INTERMEZZO II

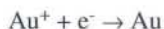
reumatische artritis (*chrysotherapie*, van het Grieks *chrysos*, dat goud betekent). Het bekendste preparaat is myocrisine. Dat is een wateroplosbare verbinding van eenwaardig goud die in spierweefsel wordt geïnjecteerd. De laatste tijd zijn nieuwe heilzame goudverbindingen ontwikkeld, waarvan sommige ook oraal kunnen worden ingenomen. De meest effectieve daarvan is auranofine. In de meeste preparaten is eenwaardig goud via zwavelatomen gebonden aan organische liganden.

Met de opkomst van platinaverbindingen, zoals cisplatinum, als effectief cytostaticum bij de behandeling van kankerpatiënten, is vanzelfsprekend ook aandacht geschonken aan de mogelijke toepassing van overeenkomstige goudverbindingen. Alhoewel er veel onderzoek aan wordt gedaan, zijn de verkregen resultaten tot nu toe teleurstellend.

van goudchloride in water nodig. De elektrolytconcentratie in deze oplossing is hoog, om de ohmse weerstand zo klein mogelijk te houden. Twee elektroden die in de oplossing zijn gedompeld, voeren er een gelijkstroom door. Er treedt dan elektrolyse op. De positieve elektrode bestaat uit goud van de normale kwaliteit. Door de elektrolyse wordt het metallische goud geoxydeerd (anode) en gaat het in oplossing:



Ook het zilver in de anode wordt geoxydeerd, maar in tegenstelling tot goudchloride is zilverchloride onoplosbaar. Het slaat op de bodem van het vat neer. Daarmee onttrekt het zilver zich aan de reactie aan de kathode. De kathode is de negatieve elektrode, waaraan de reductie plaatsvindt van goudionen tot goud:



De kathode groeit zo aan met goud van zeer hoge zuiverheid. In het totaal wordt er geen goudchloride verbruikt. Wat bij de anode oplost, groeit er bij de kathode aan. Een dergelijke elektrolytische raffinage is ook gangbaar bij de zuivering van sommige andere metalen, met name koper.

Blikvangers

Voor de praktische toepassing in sieraden en munten is zuiver goud veel te zacht. De voorwerpen zouden heel gemakkelijk vervormd raken en bovendien snel slijten. Goud wordt daarom gelegeerd door het te versmelten met andere metalen, zoals zilver, nikkel en koper. Het goudgehalte in de zo verkregen legeringen geeft men aan in karaat: zuiver goud is 24-karaats, 18-karaats goud bevat 18/24 ofwel 75% goud en 14-karaats goud bevat 14/24 (58%) van het edele metaal. Door de aard en het gehalte van de andere metalen goed te kiezen, verkrijgt men een legering met betere mechanische eigenschappen. Zo kan men sterke, slijt- en krasvaste voorwerpen maken. Ook de kleur kan worden gevarieerd. Voor het vervaardigen van sieraden zijn er gele, rode, violette en witte kleurnuances in gebruik.

Wat de kleur betreft, is er tenslotte een interessant verschijnsel dat het vermelden waard is. Als we goud in steeds fijnere deeltjes verdelen, komt er een grens waarbij het fijne goudstof 'oplosbaar' wordt in water. De deeltjes zijn dan kleiner dan circa 0,1 µm. Er is dan sprake van een dispersie van vaste stof in een vloeistof, we noemen zo'n vloeistof een sol. Goudsolen zijn sterk rood gekleurd en hebben zeer interessante eigenschappen. De wetenschap die zich daarmee bezighoudt is de colloïdchemie. De prachtige dieprode kleur in gebrandschilderd glas is vaak afkomstig van colloïdale gouddeeltjes die fijn verdeeld voorkomen in het glas.

Literatuur

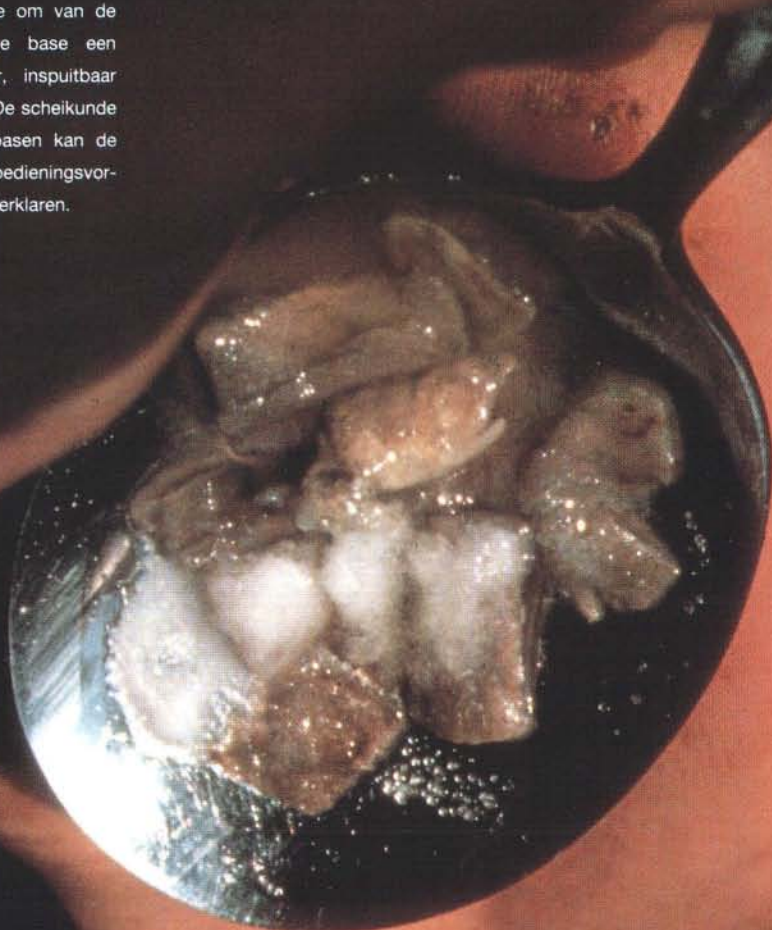
- Agricola G. De re metallica. Engelse vertaling door HC Hoover en LH Hoover. New York: Dover Publications Inc, 1986. ISBN 0-486-60006-8.
Focus on Gold/Gold: Art, Science and Technology. Interdisciplinary Science Reviews 1992; 17: 3 en 4. ISSN 0308-0188.

Bronvermelding

- Satour Benelux, Amsterdam: pag. 772-772.
Uit: Agricola, De Re Metallica: 1, 2, 6.
Metaux Precieux Metalor, Neuchatel, CH: 14, 5, 9, 10.
Met dank aan Drijfhout BV, Amsterdam: 7.
Koninklijk Instituut voor de Tropen/Tropenmuseum, Amsterdam: 11.
Chamber of Mines of South Africa, Johannesburg, SA: 12.
Degussa, Frankfurt, D: 13.
SmithKline Beecham Farma BV, Rijswijk: II-1.

Ludolf Maat
en **Amy Pluim Mentz**
Vrije Universiteit, Amsterdam

Heroïne in de handel is meestal een bruinachtig poeder dat tien tot vijftien procent heroïnebase bevat. Junkies die 'chinezen' verhitten dit mengsel op een metalen lepel en ademen de damp in. 'Spueters' voegen zuur toe om van de slecht oplosbare base een goed oplosbaar, inspuikbaar zout te maken. De scheikunde van zuren en basen kan de verschillende toedieningsvormen van drugs verklaren.





DRUGS

De meeste stoffen die we in Nederland en België drugs noemen, kunnen we indelen in drie sterk verschillende groepen: verdovende middelen, opwekkende middelen en bewustzijnsverruimende middelen. Hoewel de effecten van de verbindingen uit deze groepen sterk van elkaar kunnen verschillen, komt de manier waarop

deze effecten worden bereikt overeen. Alle drugs beïnvloeden de prikkeloverdracht tussen zenuwcellen, doordat ze zich kunnen binden aan receptoren die eigenlijk voor lichaamseigen stoffen zijn bedoeld. De verschillen in werking ontstaan, doordat de groepen drugs elk op andere zenuwcellen aangrijpen.

Stoffen met invloed op de geest noemen we drugs. Daarmee hebben we het gewone Engelse woord voor medicijn een heel andere betekenis gegeven. Hoewel drugs ook wel de aanduiding narcotica of verdovende middelen dragen, vormen de verdovende middelen in feite maar een deel van de vele soorten drugs. Wat uitwerking betreft, kunnen we drugs in drie sterk verschillende groepen onderbrengen.

De eerste groep zijn de *verdovende middelen*, met als bekendste voorbeeld opium. Dit ingedroogde melksap van papavers (*Papaver somniferum*) werd al ver voor de Griekse Tijd gebruikt als slaapmiddel en bestanddeel van allerlei geneeskrachtige mengsels. Er was vrijwel geen geneesmiddel dat geen opium bevatte en geen ziekte waartegen het niet hielp.

Het werkzame bestanddeel uit opium werd in 1805 voor het eerst geïsoleerd. Deze verbinding, die in relatief grote hoeveelheden in opium voorkomt (ruim 10%), werd morfine gedoopt, naar de Griekse god van de dromen, Morpheus. Terwijl het opiummengsel slecht oplosbaar is in water en daarom meestal wordt geslikt of gerookt, lost zuivere morfine goed op. De oplossing kan als injectievloeistof worden gebruikt. Morfine is ook nu nog in gebruik als pijnstiller. De verbinding werkt zo goed, dat twintig eeuwen onderzoek door een leger alchemisten, medici en (farmaco)chemici nog nauwelijks betere pijnstillers heeft opgeleverd.

Tegenwoordig zijn morfine en morfine-achtige verbindingen (de *opiaten*) echter beter bekend als gevaarlijke verslavende middelen dan als geneesmiddelen. Berucht in dit opzicht is heroïne, dat ontstaat na verestering met azijnzuur van de beide OH-groepen in een morfine-molekuul. Heroïne werd voor het eerst gemaakt in 1875. De stof werkt sneller en krachtiger dan morfine, doordat heroïne minder polair is en daardoor gemakkelijker in de hersenen kan doordringen. Tussen bloed en hersenen bestaat namelijk een barrière die het meest effectief is voor polaire verbindingen. Heroïne is een 'pro-drug' voor morfine: in de hersenen worden de acetaatgroepen weer vervangen door de oorspronkelijke OH-groepen. De zo (terug)gevormde morfine is verantwoordelijk voor het verdovend effect.

Ook alcohol kan tot de drugs met verdovende werking worden gerekend. Het is een mis-



1

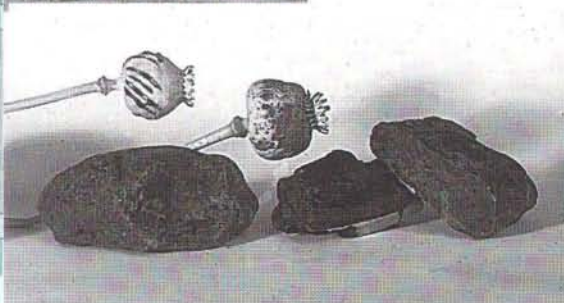
verstand te menen dat alcohol stimulerend werkt. Weliswaar vallen bij sommige gebruikers remmingen weg, maar al bij weinig alcoholgebruik neemt het reactievermogen af.

Coke en koffie

De drugs uit de tweede groep, de *opwekkende* of *stimulerende middelen*, hebben een totaal andere uitwerking dan de verdovende middelen. Ze veroorzaken geen roes, maar geven juist een heldere, scherpere waarneming. Vermoeidheid verdwijnt en de gebruiker lijkt veel meer te kunnen dan normaal. De bekendste voorbeelden uit deze groep zijn cocaïne en amfetamine. Het kauwen op bladeren van de cocastruik (*Erythroxylum coca*) is al eeuwenlang bekend bij de Indianen in Zuid-Amerika.



1 en 2. Heroïne kan met betrekkelijk eenvoudige chemische bewerkingen worden verkregen uit opium, het gedroogde melksap van papaverbollen. Heroïne is voor velen synoniem met drugsproblemen. Dat is niet zo verwonderlijk, gezien het sterk verslavende karakter van dit verdovend middel, de hoge kosten van het dagelijks gebruik en het feit dat handel, bezit en gebruik ervan bij wet zijn verboden en dus per definitie tot de criminaliteit behoren.



2

Eind vorige eeuw werd het gebruik van een coca-extract ook in Europa populair. De uitvinder van een cocaïnehoudende wijn kreeg bijvoorbeeld een pauselijke onderscheiding voor z'n verdiensten. Geïnspireerd door dit succes bereidde een Amerikaanse apotheker een cocaïnehoudend medicinaal drankje dat hij Coca-Cola noemde. Hoewel de samenstelling inmiddels is gewijzigd, verwijst de naam van deze populaire frisdrank nog naar een van de vroegere bestanddelen.

Toen het eenmaal lukte om de zuivere verbinding cocaïne uit cocabladeren te extraheren, kwamen er problemen met coca. Gebruikers konden zich de oplossing nu ook inspijten. De werking wordt daardoor veel sterker en begint sneller, maar de stof is ook sneller uitgewerkt. Dan volgt er altijd een zware depressie, waartegen eigenlijk alleen een nieuwe dosis cocaïne goed helpt. Steeds grotere doses zijn nodig en na enige tijd blijkt dat de gebruiker verslaafd is. Langdurig gebruik leidt daarna vaak tot krankzinnigheid. Eén van de eersten die dit gevaar inzag en er voor waarschuwde was de Duitse arts Albrecht Erlener, die nu bekender is door het handige stukje glaswerk dat hij bedacht dan door z'n waarschuwingen tegen cocaïne.

Een ander bekend stimulerend middel is amfetamine. Dit komt niet in de natuur voor, maar werd in het begin van deze eeuw als geneesmiddel ontwikkeld. Ook hierbij begonnen de moeilijkheden – verslaving en overdosering – pas, toen in de hippietijd de gewoonte opkwam om het pepmiddel rechtstreeks te injecteren, in plaats van het te slikken. Inmiddels zijn er veel variaties op het amfetamine-molekuul bedacht en gesynthetiseerd, de meeste met een vergelijkbare werking.

Nicotine in tabak en cafeïne in koffie behoren eveneens tot de groep van de stimulerende middelen. Verslaving aan deze middelen wordt in de huidige samenleving acceptabel geacht. Dankzij de vrije verkoop van nicotinehoudende middelen maakt tabak veel meer dodelijke slachtoffers dan alle andere drugs bij elkaar. Wat het effect van koffie betreft, kan men het drinken van koffie in de westerse wereld goed vergelijken met het kauwen op cocabladeren in Zuid-Amerika.

Adam en Eve

De *bewustzijnsverruimende middelen* vormen de laatste van de drie groepen waarin we de drugs kunnen onderverdelen. 'Harde' voorbeelden zijn mescaline uit de Mexicaanse peyotlcactus (*Lophophora williamsii*) en het psychedelische tripmiddel LSD, lyserginezuurdiethylamide. Ze hebben een sterke invloed op de verwerking van de waarnemingen: alles wat men ziet of hoort, lijkt plotseling heel onbekend en anders. LSD kan al bij inname van de met het blote oog nauwelijks zichtbare hoe-

veelheid van 0,25 milligram ernstige hallucinaties veroorzaken. De stof werkt verslavend. Het grootste gevaar ervan zit 'm in de grenzeloze zelfoverschatting die de verbinding te weegbrengt. LSD wordt dan ook tot de hard-drugs gerekend. LSD-gebruikers van nu maken voor de dosering gebruik van papiertjes, die in een verdunde LSD-oplossing zijn gedoopt. Van de velletjes wordt een klein vierkantje met zijden van vijf millimeter afgeknipt. Dit bevat voldoende LSD voor een trip.

Ook de softdrugs hash en marihuana en de vooral op houseparty's populaire drug XTC, horen tot de bewustzijnsverruimende middelen. De werkzame verbindingen in deze drugs veroorzaken, in tegenstelling tot LSD, echter nauwelijks hallucinaties.

Marihuana is eigenlijk niets anders dan gedroogde en gemalen delen van de hennepplant (*Cannabis sativa*), een grote, soms vier meter hoge, kruidachtige plant, die ook in Nederland en België uitstekend groeit. Uit de marihuana kan weer hash worden bereid, bijvoorbeeld door het te zeven.

Hash is wat sterker dan marihuana; het bestaat voor een groot deel uit de kleverige hars van de bloemtoppen van de hennepplant. Gebruik van cannabis-drugs geeft ontspanning, lichte euforie en verhoogde gevoeligheid voor kleurwaarneming. Het voor de roeswerking belangrijkste bestanddeel uit de meer dan dertig verbindingen in hash is vermoedelijk tetrahydrocannabinol (THC). Dit wordt ook toegepast als anti-brakmiddel voor kankerpatiënten.

XTC (spreek uit: 'ecstasy'), ook wel 'Adam' of 'the love drug' genoemd, heeft als wetenschappelijke naam 3,4-methyleendioxy-N-methylamfetamine, afgekort MDMA. Zoals uit de naam blijkt, is de verbinding afgeleid van het stimulerende middel amfetamine. Door de aanwezigheid van de methyleendioxy-groep in het molecuul is de werking kort na inname voornamelijk bewustzijnsverhogend. Enige

uren later treden er ook stimulerende effecten op. De stof werd verboden nadat bleek dat een dosis die vijfmaal zo hoog is als normaal, bij ratten zenuwbeschadigingen veroorzaakt.

Een op XTC lijkende verbinding is 3,4-methyleendioxy-N-ethylamfetamine (MDEA) of 'Eve'. Eve heeft dezelfde structuur als Adam, maar bezit een ethylgroep aan het stikstofatoom in plaats van een methylgroep. Adam en Eve hebben vergelijkbare effecten: ze verhogen allebei bewustzijn, mededeelzaamheid, inlevingsvermogen en uithoudingsvermogen van de gebruiker. Het effect van Eve is zwakker dan dat van Adam en dat zal er mede de reden van zijn dat deze stof in Nederland lange tijd was toegestaan. De 'housepil' is onlangs verboden.

Drugs in het zenuwstelsel

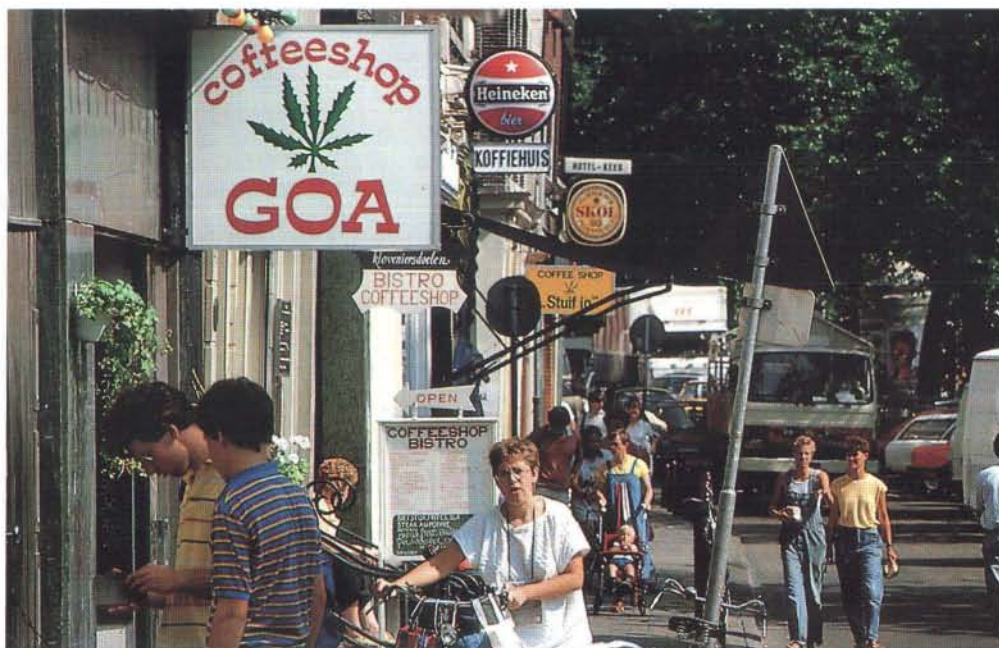
Het uiteindelijke effect van de verschillende typen drugs kan weliswaar sterk verschillen, maar alle drugs beïnvloeden de impulsover-



3, 4 en 5. Verschillende drugs hebben hun eigen scene, hoewel het gebruik zich zeker niet daartoe beperkt. Anderzijds is niet iedereen in een drugsrijke



4



5

omgeving ook gebruiker. Heroïne hoort bij straat-handel en gebruik in parken, portieken en afbraakpanden. Hash is populair in coffeeshops (5) en op

popfestivals. Bij house-party's (4) hoort XTC, terwijl een aantal bezoekers van dergelijke feestnachten ook experimenteert met cocaine en LSD (3).

dracht tussen zenuwcellen. Enige kennis van het zenuwstelsel is dan ook noodzakelijk om de werking van drugs te kunnen begrijpen.

Het centrale zenuwstelsel bestaat uit een groot aantal zenuwcellen. Het meest voorkomende type zenuwcel is enigszins bolvormig met aan de ene kant een aantal korte uitlopers en aan de andere kant één lange uitloper, het *axon*. Axonen kunnen tot vele centimeters lang zijn.

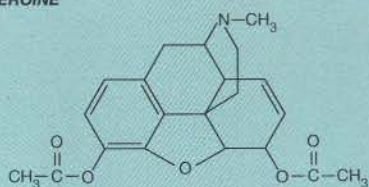
Het celmembran van een axon heeft een aantal bijzondere eigenschappen. Zo beschikt het over pompen die voortdurend natriumionen de cel uitpompen en kaliumionen er in. Aldus veroorzaken zij een ladingsverschil tussen de binnen- en buitenkant van de cel. Het membraan bevat bovendien kanalen voor het transport van één soort geladen deeltjes, zoals natrium- of kaliumionen. Bij prikkeling op een bepaalde plaats van het celmembran gaan

ter plaatse eerst de natriumkanalen open. De instromende natriumionen keren het ladingsverschil om. Kort daarop gaan ook de kaliumkanalen open en herstelt het ladingsverschil zich weer. De kortstondige ompoling – de *actiepotaal* – is de prikkel voor een volgend stukje membraan en kan zich aldus zeer snel over het hele celmembran verplaatsen. Zo brengt een prikkel een impuls teweeg in het langgerekte axon.

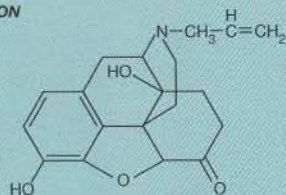
Aan het einde van de cel houdt het celmembran op en dreigt de impuls dood te lopen. De volgende zenuwcel kan nog zo dichtbij zijn, er moet altijd een ruimte tussen de twee zenuwcellen worden overbrugd. De plaats van impulsoverdracht tussen twee zenuwcellen noemt men de *synaps*. Om de impuls door te kunnen geven bevat het doodlopende axonuiteinde blaasjes met een signaalstof (een *neurotransmitter*). Bij prikkeling van het axon komt die signaalstof vrij in de ruimte tussen de cellen, de synapsspleet. De neurotransmittermolekelen bewegen door de synapsspleet en worden herkend door speciale eiwitten op de volgende zenuwcel: de *receptoren*.

Vergeleken met de snelle impulsgeleiding door een axon, is de beweging van neurotrans-

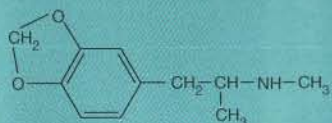
HEROÏNE



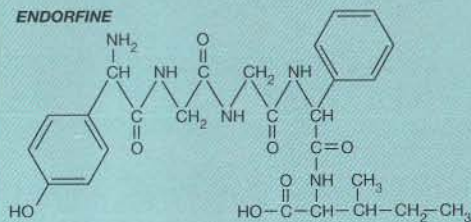
NALOXON



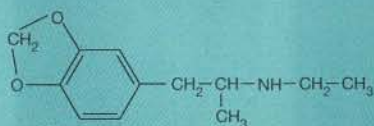
MDMA, XTC, ADAM



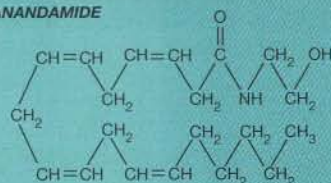
ENDORFINE



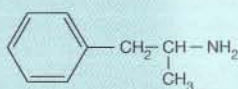
MDEA, EVE



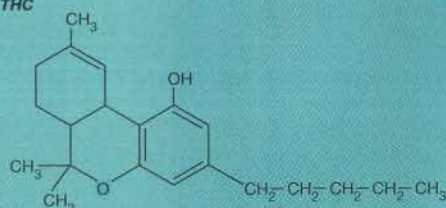
ANANDAMIDE



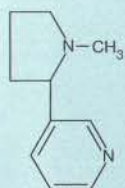
AMFETAMINE



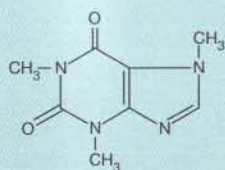
THC



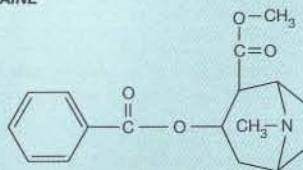
NICOTINE



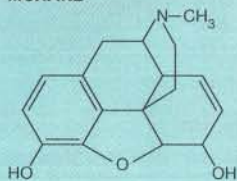
CAFEÏNE



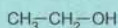
COCAÏNE



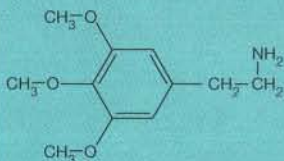
MORFINE



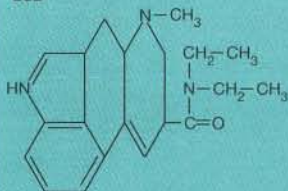
ALCOHOL



Mescaline



LSD



Verdovend

Bewustzijns-
verruimend

Stimulerend

Lichaamseigen

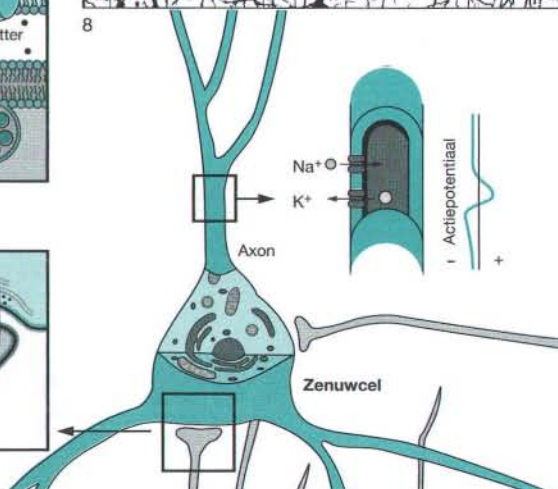
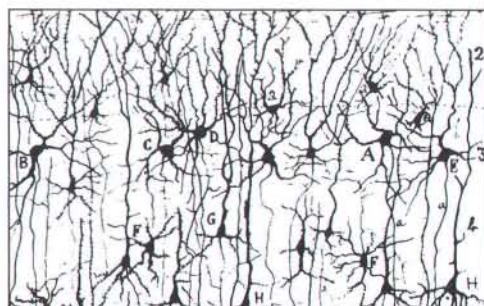
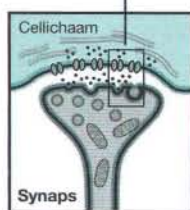
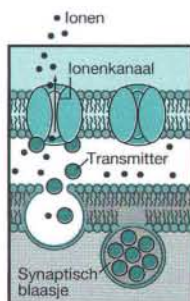
6. De verbindingen die in dit artikel aan de orde komen, geven een goed overzicht van de gangbare drugs in de Westerse Wereld. Mescaline is de minst gangbare in dit overzicht. Endorfine en anandamide zijn geen drugs, maar lichaamseigen verbindingen met een vergelijkbare werking. Naloxon is het medicijn tegen een overdosis heroïne.

7 en 8. Zenuwcellen vormen samen een ingewikkeld netwerk. Tussen twee zenuwcellen is er telkens een smalle spleet, de synaps, waar een impuls met behulp van transmitters van de ene op de andere cel wordt overgedragen. Drugs kunnen die overdracht beïnvloeden.

mittermolekulen door de synapsspleet een buitengewoon traag proces. Slechts doordat de spleet zeer nauw is, leidt deze impulsoverdracht niet tot onverantwoorde vertragingen.

De wisselwerking tussen een signaalfstof en zijn receptor veroorzaakt veranderingen in de ontvangende zenuwcel. Afhankelijk van de aard van de receptoren stimuleert of remt de neurotransmitter de ontvangende cel. In die cel zal bij stimulatie ook een impuls ontstaan, terwijl remming de cel juist minder gevoelig maakt voor prikkels.

Aangezien de zenuwcel al vlug weer klaar is voor een volgende impuls, moet ook de synapsspleet snel worden vrijgemaakt van neurotransmittermolekulen. Dat kan bijvoorbeeld door snelle afbraak van de neurotransmitter aan de receptoren van de ontvangende zenuwcel, maar ook door de aanwezigheid van extra receptoren op de 'zendende' cel, die bij een hoge concentratie aan neurotransmitter in de synapsspleet het teveel kunnen wegvangen.



Het vrijkomen van de neurotransmitter, het prikkelen van de volgende zenuwcel en het ontruimen van de synapsspleet zijn ingewikkelde processen, die zich op legio manieren door hormonen en geneesmiddelen, maar ook door drugs laten beïnvloeden. Zo kan verandering van de snelheid waarmee neurotransmittermolekulen worden aangemaakt of afgebroken, de impulsoverdracht beïnvloeden. De blaasjes met neurotransmitter kunnen door overprikkeling uitgeput raken, wat de signaaloverdracht verstoort. Maar vooral kunnen de verschillende receptoren worden beïnvloed door verbindingen die eraan kunnen binden, zoals interne regeleiwitten, de neurotransmitter zelf of verbindingen, zoals drugs, waarvan de structuur gedeeltelijk overeenkomt met die van de neurotransmitter.

We kunnen het zenuwstelsel opgebouwd denken uit delen die elk een eigen taak hebben en voor de uitvoering daarvan beschikken over een eigen neurotransmitter. De scheiding heeft een belangrijke functie: zenuwcellen die bijvoorbeeld gezichtssignalen van het oog naar de hersenen brengen, mogen hun boodschap niet aan pijngeleidende cellen doorgeven, ook al zitten de zenuwen vlak bij elkaar. Het lezen van deze tekst zou dan een pijnlijke



9

Pijnstillers zonder verslaving?

De receptoren waar verdovende middelen als morfine aan binden zijn eigenlijk bestemd voor lichaamseigen verbindingen als endorfinen en enkefalinen. Volgens binding-effectstudies moeten er ten minste drie soorten receptoren voor bestaan, die overigens niet allemaal betrokken zijn bij het pijnstillend effect. Maar ondanks deze gegevens leken de opiaatreceptoren zelf ongrijpbaar, tot in december 1992 twee groepen onderzoekers onafhankelijk van elkaar een opiaat-receptor ontdekten. De Franse en de Californische groep hebben hun receptoren nog niet met elkaar vergeleken, maar omdat beide zijn uitgegaan van dezelfde cellijn zal het hoogstwaarschijnlijk dezelfde receptor zijn.

Deze ontdekking maakt veel vervolgonderzoek mogelijk. Dat zal zich niet alleen richten op nieuwe receptoren, maar ook op de plaatsen waar de verschillende receptortypen in de herse-

nen voorkomen en op hun functie. Receptoren kunnen worden veranderd om te onderzoeken welk gebied cruciaal is voor hun werking. En als er uiteindelijk één pijnstillende receptor blijkt te bestaan, kan opnieuw worden gezocht naar een opiumachtige pijnstiller zonder verslavende bijwerkingen.

De receptor voor tetrahydrocannabinol (THC), de actieve verbinding in marihuana, is sinds 1990 bekend. De functie van deze receptor in het lichaam en de lichaamseigen molekulen die erop passen bleven echter in nevelen gehuld. Israëlische onderzoekers ontdekten onlangs een endogeen molecuul voor deze receptor. De verbinding lost op in vet, net als THC. Verder komt echter alleen de structuur van het receptorbindend deel overeen met THC. Terwijl THC een complexe ringstructuur heeft, is het lichaamseigen molecuul een eenvoudiger, van arachidonzuur afgeleide verbinding.

De verbinding, arachidonylethanolamide, kreeg



zaak worden. De deelstelsels laten zich afzonderlijk beïnvloeden door allerlei lichaamseigen of lichaamsvreemde verbindingen.

Ook als er niets valt door te geven, ontlaaft een zenuwcel zich regelmatig. Hij geeft een impuls door die een eindje verderop uitdooft. Dit wordt wel eens vergeleken met een automotor die stationair loopt. Pas als een groot aantal zenuwcellen tegelijk 'vuurt', dooft de impuls niet uit en wordt die doorgegeven.

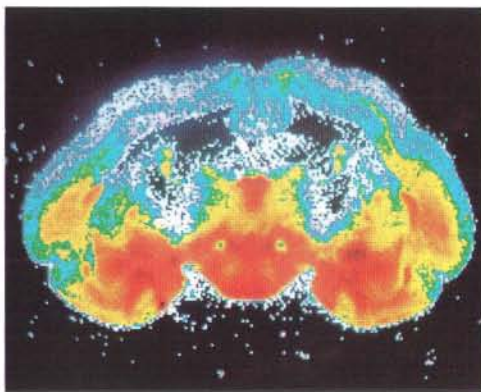
Het blijkt nu dat een stimulerend middel als amfetamine sommige deelstelsels op een hoger toerental stationair laat lopen, zodat het stelsel sneller op echte prikkels reageert. Dit zou de toegenomen alertheid kunnen verklaren. De voor amfetamine gevoelige deelstelsels blijken dopamine en daaraan verwante verbindingen als neurotransmitter te gebruiken. Amfetamine stimuleert de afgifte van de neurotransmitter dopamine uit een zenuwcel, zonder dat er een impuls door de zenuw aan is voorafgegaan. Er ontstaan dus veel meer 'valse' impulsen dan normaal in rust. Cocaïne werkt op een iets andere manier, maar wel op dezelfde zenuwen, zodat de werking van cocaïne vergelijkbaar is met die van amfetamine.

Bewustzijnsverruimende middelen zoals LSD en mescaline beïnvloeden een heel ander

INTERMEZZO

de toepasselijke naam anandamide, naar een woord uit het Sanskriet dat innerlijk geluk betekent. Experimenten met spierweefsel van muizen duiden erop, dat anandamide werkelijk een interne evenknie van THC kan zijn: beide stoffen hebben hetzelfde ontspannend effect. Deze resultaten zijn bemoedigend, maar leveren nog geen volledig bewijs, aangezien ook andere drugs dat effect geven. Inmiddels hebben ook twee andere groepen onderzoekers lichaamseigen cannabinoïden gevonden.

Door deze ontdekkingen kan onderzoek worden verricht naar de functie van anandamide-makende zenuwcellen in het centrale zenuwstelsel. En als er meerdere receptoren blijken te bestaan, wordt het in de toekomst misschien mogelijk de therapeutische effecten van marihuana (pijnstillend, bloeddrukverlagend, braakremmend) te bereiken zonder high te worden.



10

9. Zwaarbewapende opdroegen vernietigen een opiumveld in Tadzjikistan. Hun uitrusting demonstreert dat de drugsbaronnen best bereid zijn hun bezit gewapenderhand te verdedigen.

10. De verdeling van opiatoreceptoren in de hersenen van een cavia. In de rode gebieden is de receptordichtheid het grootst, in de paarse en witte delen is die zeer laag.

deelstelsel. Dit werkt met serotonine als neurotransmitter. De bewustzijnsverruimende middelen zetten het hele deelstelsel op een lager pitje; de zenuwen worden minder actief. De 'feestdrug' XTC werkt op dezelfde zenuwen, maar activeert andere receptoren dan LSD. XTC bezit daarnaast een stimulerend effect, doordat het ook dopaminezenuwen beïnvloedt. Merkwaardig is dat XTC, hoewel afgeleid van amfetamine, met heel andere receptoren reageert dan amfetamine. Bovendien beïnvloedt XTC ook nog zenuwen met glutamine als neurotransmitter. De oorspronkelijke gedachte, dat het effect van XTC een optelsom is van de amfetamine- en mescaline-eigenschappen van de drug, lijkt dus te simpel.

Voor de verdovende middelen, zoals morfine, heeft het erg veel moeite gekost om uit te zoeken welk deel van het zenuwstelsel zij beïnvloeden. Door te kijken naar de effecten van opiaten, (nauwe oogpupillen, vertraagde ademhaling en verstopping door remming van de darmwerking) werd wel duidelijk welke zenuwen het betrof, maar de bijbehorende neurotransmitter was jarenlang onvindbaar.

Een rol in de oplossing van het raadsel speelde de merkwaardige verbinding naloxon, die binnen enkele seconden alle morfine- en andere opiaatmolekulen van de receptoren op de zenuwcellen kan verwijderen. Een met naloxon behandelde patiënt die vrijwel op sterven ligt na een overdosis heroïne, staat ogenblikkelijk op alsof er niets gebeurd is. Pas iets later beginnen de sterke ontwenningsverschijnselen.

In 1975 werd de neurotransmitter uiteindelijk gevonden: een klein eiwitmolekuul, endorfine genoemd, bestaande uit vijf aminozuren. Dit endorfine blijkt in het lichaam hetzelfde effect te hebben als morfine, namelijk pijn onderdrukken. Sinds de samenstelling van dit endorfine bekend is, is de geneesmiddelenindustrie op zoek naar een pijnstiller die niet de verslavende eigenschappen van morfine heeft, maar wel dezelfde sterke pijnstillende werking (zie Intermezzo).

Chemie voor gebruikers

Niet alleen voor druggebruikers en medici zijn drugs interessant, ook chemisch gezien zitten er belangwekkende kanten aan. De meeste drugmolekulen bevatten namelijk stikstofato-



11

men. Die zijn verantwoordelijk voor het soms onvoorspelbaar lijkende gedrag van drugs. Onder dezelfde naam verhandelde drugs zijn soms oplosbaar in water en kunnen dus ingespoten worden, maar een andere keer helemaal niet. De ene verbinding is te roken, de andere ontleedt bij verhitting. De gemiddelde druggebruiker zal dit gedrag door schade en schande hebben leren kennen, zonder zich in de scheikundige achtergrond hiervan te verdiepen. Toch is de scheikunde achter dit alles in wezen heel simpel. Het blijkt een kwestie van zuur-basegedrag.

Het gedrag van zo'n stikstofhoudend drugmolekuul lijkt veel op dat van ammoniak, NH_3 . Doordat de aantrekkingskrachten (Van der Waals-krachten) tussen de kleine NH_3 -molekulen niet erg groot zijn, is ammoniak vluchtig. Bij kamertemperatuur is ammoniak zelfs gasvormig. De base ammoniak kan gemakkelijk met een zuur reageren. Bij de reactie tussen een zuur en een base wordt een zout gevormd: een ionogene verbinding die in dit geval bestaat uit ammoniumionen en zuurrestionen. De aantrekkingskrachten tussen deze ionen zijn groot, zodat een vaste, niet-vluchtige verbinding ontstaat. Het zout is uit-



11. Eve, ofwel MDEA, werd in Nederland pas verboden toen een handelaar adverteerde met een postorder-service voor de drug. Dát ging de overheid te ver. Toch is deze drug misschien niet schadelijker dan een kopje koffie. Zeker is dat alcohol en nicotine jaarlijks aan honderdduizenden gebruikers het leven kosten. De overheid verbiedt die drugs niet, maar verzoekt rokers en drinkers beleefd om 'verstandig' te gebruiken.

stekend oplosbaar in water, doordat de ionen direct door een watermantel worden omgeven.

De molekulen van de meeste drugs hebben vergelijkbare eigenschappen. Laten we cocaïne als voorbeeld nemen. Ook het cocaïnemolekuul bevat een stikstofatoom dat voor een basisch karakter zorgt. Daarom wordt het cocaïnemolekuul ook wel cocaïnebase genoemd. Cocaïnebase is evenals ammoniak een niet-ionogene verbinding, die vrij gemakkelijk verdampst doordat alleen zwakke Van der Waals-bindingen de molekulen bijeenhouden. De base is bovendien nogal apolair, met als gevolg dat die slecht in water oplost.

In de laatste zuiveringsstap van cocaïne wordt zoutzuur gebruikt. Hierbij wordt een zout gevormd met de negatieve (chloride-) ionen van het gebruikte zuur. Dit zout lost uitstekend in water op en is dus zeer geschikt om in te spuiten, maar is niet vluchtig doordat nu sterke ionenbindingen de deeltjes bij elkaar houden. Als een junkie cocaïne-zout wil gebruiken door de damp in te ademen, moet hij het voor het verhitten goed met soda (natriumcarbonaat) of kalk mengen. Deze verbindingen zetten het cocaïne-zout weer om in cocaïnebase. Hierbij ontstaat een verbinding die be-

kend staat als *crack*. Dit verdampst gemakkelijk, in tegenstelling tot het cocaïne-zout dat alleen maar zou ontleiden.

Voor heroïne geldt eigenlijk hetzelfde. Normaal is er heroïne in de handel die niet in water wil oplossen en daarom niet in te spuiten is. Veel junkies weten dat die wel in citroenzuur oplost. Daarbij wordt de heroïnebase in een goed oplosbaar zout (citraat) omgezet. Ook dit is een omzetting van een niet-ionogene in een ionogene verbinding, met een sterke verandering in eigenschappen.

In lichaamsvloeistoffen, in de maag, de darmen en het bloed, ligt de zuurgraad vast en daarmee ook de vorm waarin cocaïne of heroïne kan voorkomen (zout of base). De zuurgraad van de urine is wel een beetje te beïnvloeden. Daarvan maakt men gebruik bij het behandelen van gebruikers die een overdosis cocaïne hebben binnengekregen. Zij krijgen ammoniumchloride toegediend. Dat maakt de urine veel zuurder. Daardoor wordt de cocaïne in de urine een goed oplosbaar zout. Hoe beter de cocaïne in de urine oplost, des te sneller verdwijnt het uit het bloed.

Verbindingen met een basisch stikstofatoom worden vaak *alkaloïden* genoemd. Een algemeen gebruikte drug als nicotine is ook zo'n alkaloïde. Veel nicotineverslaafden merken dat ze het meest zin in een sigaret hebben na de maaltijd, na wat alcohol of in tijden van stress. Dit zijn precies de momenten waarop de urine zuurder is dan normaal, zodat het bloed ook sneller dan normaal wordt ontgift en de nicotineconcentratie weer moet worden aangevuld. Zowel voor junkies als voor rokers wordt het leven veel begrijpelijker met een beetje kennis van de zuur-basetheorie.

Literatuur

Maat L, Pluim Mentz A. Drugwerk - Drugs en hun werking. Amsterdam: Faculteit Scheikunde van de VU.
Snyder SH. Psychofarmaca - Hersenen onder invloed. Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, Natuur & Techniek, 1989.

Bronvermelding illustraties

Benelux Press BV, Voorburg: pag. 748-749, 9
Hollandse Hoogte, Amsterdam: 1 (Gerlo Beernink), 4 (Gerard Wessel) en 5 (Eduard de Kam)
Foto- en tekenafdeling natuurwetenschappen, VU, Amsterdam: 2 en 3
M.J. Kuhar en E.B. Desouza: 10
Geert Hendrickx, Maastricht: 11

Spreiding en scheiding

Het ontstaan van nieuwe soorten



Steph B.J. Menken

Instituut voor Taxonomische Zoölogie, Universiteit van Amsterdam

Ons voorstellingsvermogen schiet tekort om de enorme verscheidenheid aan levensvormen op aarde te bevatten. Met recht spreken we over het grootste wonder van deze planeet. Wellicht nog verbazingwekkender is dat het grootste deel van alle soorten nog steeds niet door wetenschappers is ontdekt. Bovendien maken de huidige levensvormen wellicht slechts één promille uit van alle soorten die de aarde ooit bewoonden. Na de eerste verbazing over de diversiteit rijst spoedig de vraag hoe deze biologische verscheidenheid en complexiteit zich heeft kunnen ontwikkelen. Als het leven eenmalig op aarde is ontstaan, zoals algemeen wordt aangenomen, moeten er processen bestaan waardoor uit één soort meerdere soorten ontstaan.



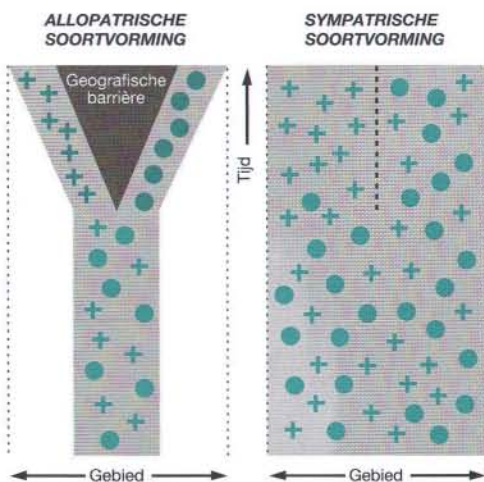
Zolang de genetische variatie binnen een populatie – een groep individuen van één soort in een bepaald gebied – voortdurend door paringen wordt gemengd, kan er geen nieuwe soort ontstaan. Zodra echter een groep organismen zich zodanig afscheidt van de

rest dat er geen genetische uitwisseling tussen de deelpopulaties meer plaatsvindt, is de vorming van een nieuwe soort begonnen. Bij stippelmotten kan dat betrekkelijk gemakkelijk gebeuren wanneer ze van voedselplant wisselen.

De mens heeft altijd geprobeerd onderscheid te maken tussen soorten. Dat gebeurde in eerste instantie puur uit levensbelang; men moest weten of een plant eetbaar was of niet. Ook nieuwsgierigheid was een belangrijke factor. Meer dan 2300 jaar geleden al begon Aristoteles met het groeperen van dieren in soorten. Carl von Linné, beter bekend onder zijn verlatijnste naam Carolus Linnaeus, was de eerste die rond 1750 de planten- en dierenwereld van systematische namen voorzag en indeelde op grond van hun uiterlijke overeenkomsten en verschillen. De variatie tussen individuen van dezelfde soort ontging Linnaeus weliswaar niet, maar hij vond dit aspect onbelangrijk. Tot lang na Linnaeus werd de essentie van de soort gezien in één karakteristiek type.

Met Darwin wordt in het midden van de vorige eeuw het denken in soorten vervangen door denken in populaties. Die bestaan uit onderling verschillende individuen. In zijn ogen was variatie binnen de soorten een essentieel punt, omdat juist deze ongelijkheden natuurlijke selectie en daarmee evolutie mogelijk maken. Doordat populaties doorgaans veel meer nakomelingen produceren dan de natuur kan herbergen, overleven alleen de best aangepasten. Die leveren daardoor een grotere genetische bijdrage aan de volgende generatie, wat ervoor zorgt dat hun eigenschappen behouden blijven.

In dit selectieproces wordt gebruik gemaakt van de in populaties aanwezige genetische variatie. In de loop van de tijd ontstaan er veranderingen in het genetisch materiaal (het DNA) van individuen. Deze veranderingen in de samenstelling van het DNA, *mutaties* genaamd, treden spontaan op en zijn ongericht. Het zijn, met andere woorden, toevallige veranderingen in het DNA en ze zijn niet het gevolg van de noodzaak tot een bepaalde aanpassing. In een bepaalde omgeving zijn organismen met sommige mutaties in het voordeel. Daardoor hebben die mutaties een grotere kans om aan volgende generaties te worden doorgegeven.



1

1. We kennen allopatrische en sympatrische soortvorming. Wanneer een geografische barrière het verspreidingsgebied van een populatie opdeelt, komt allopatrische

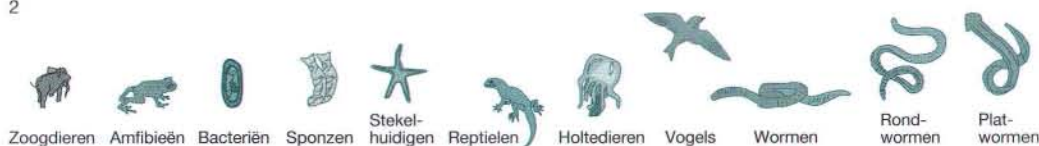
soortvorming op gang. We spreken van sympatrische soortvorming wanneer een deel van de populatie in hetzelfde gebied een andere rol inneemt en zich aldus afscheidt.

Aldus hopen gunstige mutaties zich op in een populatie. Externe krachten bepalen deze evolutionaire verandering; kortom, organismen wikken maar externe krachten beschikken.

Typen soortvorming

Er is een aantal manieren waarop nieuwe soorten kunnen ontstaan. Die hangen samen met de plaats op aarde waar een soort voorkomt, zijn milieu en zijn functie daarin. Al in de vorige eeuw waren er twee hoofdtypen van soortvorming bekend, die zijn gebaseerd op de rol die geografische isolatie speelt. Het feit dat nauw verwante soorten vaak niet in hetzelfde, maar in een aangrenzend gebied leven, vormde een sterke aanwijzing dat soorten door geografische isolatie ontstaan. Dit heet *allopatrische soortvorming*.

2



De verklaring komt erop neer, dat er ten gevolge van een geografische barrière een ruimtelijke scheiding ontstaat, waardoor twee groepen van eenzelfde populatie onafhankelijk van elkaar evolueren. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren doordat de zeespiegel stijgt. Als deze groepen maar lang genoeg gescheiden blijven, hopen zich vele genetische veranderingen in beide deelpopulaties op. Als de groepen elkaar weer ontmoeten, bijvoorbeeld na een zeespiegel-daling, herkennen ze elkaar niet meer als van dezelfde soort. Ze kunnen geen nakomelingen meer leveren en er is reproductieve isolatie ontstaan. Waarschijnlijk zijn hiervoor duizenden generaties nodig.

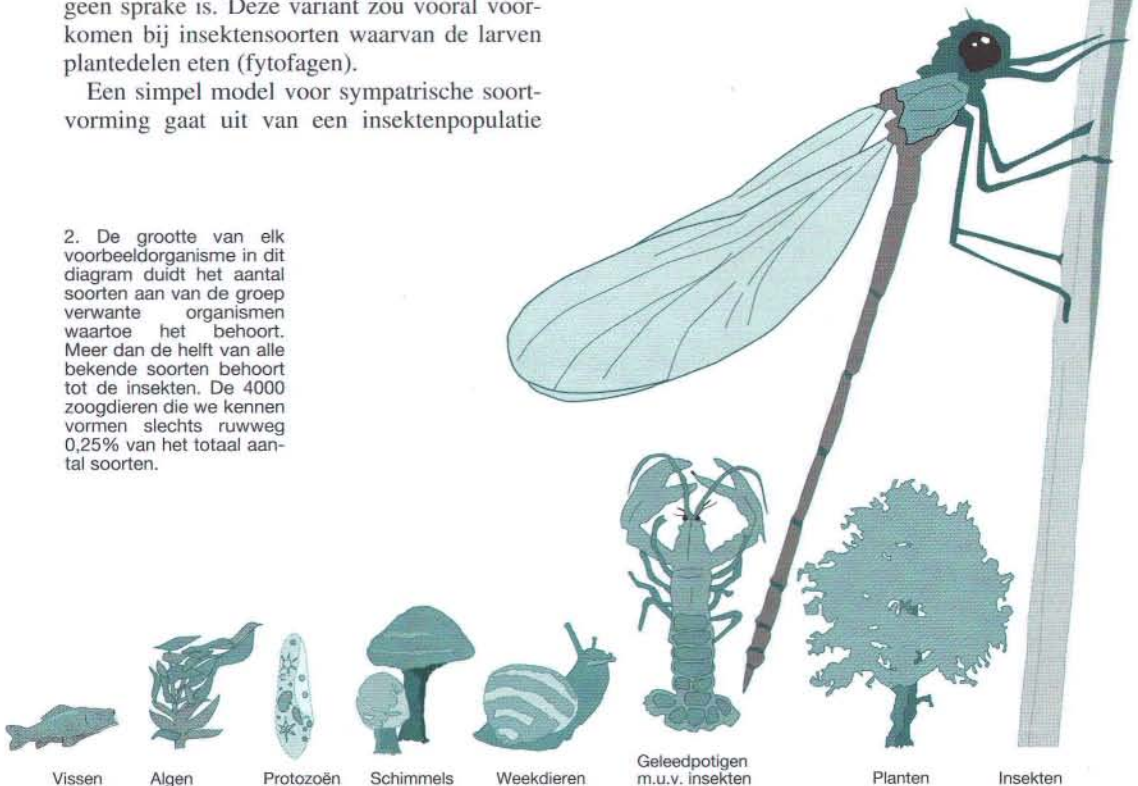
Uit dezelfde periode stamt een alternatief model van soortvorming, waarbij een nieuwe soort binnen het verspreidingsgebied van de voorouder-soort ontstaat. Insekten bijvoorbeeld zijn in staat op door de mens geïntroduceerde planten over te stappen, zich daarop snel aan te passen en zich mogelijk zelfs tot nieuwe soorten te ontwikkelen. Dit heet *sympatrische soortvorming*, omdat hier van ruimtelijke scheiding als in het *allopatrische* model geen sprake is. Deze variant zou vooral voorkomen bij insektensoorten waarvan de larven plantdelen eten (fytofagen).

Een simpel model voor sympatrische soortvorming gaat uit van een insektenpopulatie

die bestaat uit individuen met een erfelijk vastgelegde variatie. De belangrijkste verschillen zijn zowel hun voorkeur voor het gebruik van een bepaalde plant als voedselbron, als het vermogen daarop te overleven. Planten vormen namelijk giftige stoffen om zich te beschermen tegen insektenvraat. In de natuur blijkt dat zowel vrouwtjes als mannetjes allereerst door de voor hen specifieke voedselplant worden aangetrokken. Daar paren ze. Aanvankelijk paren er nog individuen met verschillende voorkeur, maar door voortgaande adaptatie in zo'n variabele populatie ontstaan twee groepen; op iedere plantesoort één. Deze kunnen zich langzamerhand tot nieuwe soorten ontwikkelen. In het sympatrische model beperkt een inwendige barrière als de voedselplantkeuze dus de genenuitwisseling; in het allopatrische model is dat een barrière van buiten, bijvoorbeeld een geografische.

Als belangrijkste bezwaar tegen het sympatrische model is aangevoerd dat de deelpopulaties aan het begin van het proces nog te vaak

2. De grootte van elk voorbeeldorganisme in dit diagram duidt het aantal soorten aan van de groep verwante organismen waartoe het behoort. Meer dan de helft van alle bekende soorten behoort tot de insekten. De 4000 zoogdieren die we kennen vormen slechts ruwweg 0,25% van het totaal aantal soorten.



met elkaar paren om het uit elkaar groeien mogelijk te maken. Deze opvatting legt te eenzijdig de nadruk op de nivellerende werking van genenuitwisseling. Dit blijkt ook uit de biologisch-realistische modellen die de laatste jaren zijn ontwikkeld. Sympatrische soortvorming is wel degelijk onder allerlei omstandigheden mogelijk.

Een belangrijk aspect in het proces van sympatrische soortvorming is de evolutie van specialisatie op een nieuwe voedselbron. De verwachting is, dat aanpassing aan een nieuwe voedselplant gepaard gaat met een verminderde aanpassing aan de oorspronkelijke plant. Anders zou de overstap eenvoudigweg een uitbreiding van het dieet betekenen. Soms is dit ook zo. Vooral bij insecten die zich met veel plantensoorten, uit meerdere families, kunnen voeden (*polyfagen*) is een nieuwe voedselplant vaak inderdaad een uitbreiding van de al aanwezige voedingsmogelijkheden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de treksprinkhaan en de Californische trips.

Bij *oligofage* insecten liggen de zaken wellicht anders. Zij zijn meer gespecialiseerd en leven op enkele plantensoorten die tot één familie behoren. Binnen deze insectengroep is

Soorten in soorten

Iedereen heeft wel een idee over wat een soort is. Men denkt aan groepen van individuen die qua uiterlijk op elkaar lijken en waarvan mannelijke en vrouwelijke exemplaren vruchtbare nakomelingen produceren. In feite is het biologisch soortbegrip op deze algemene beschrijving gebaseerd: soorten zijn groepen van zich voortplantende, natuurlijke populaties die reproductief geïsoleerd zijn van andere soorten. *Reproductieve isolatie* betekent dat er geen genetische vermenging (bastardering) tussen twee soorten kan plaatsvinden, ofwel omdat individuen niet met elkaar paren, ofwel omdat er na paring geen of onvruchtbare nakomelingen volgen. Muilnier en muilezel, de steriele nakomelingen van kruisingen tussen ezel en paard, zijn van de laatste categorie een voorbeeld. Paard en ezel kunnen daardoor niet opgaan in één (nieuwe) soort.

Deze definitie plaatst ons echter voor problemen. Zij beperkt zich namelijk tot soorten met gescheiden geslachten. Er komen in de natuur echter ook één-oudergezinnen voor, bestaande uit louter vrouwtjes die zonder bevruchting slechts vrouwelijke nakomelingen krijgen. Dit gebeurt onder andere bij bepaalde soorten wandelende takken. Ook bestaan er soorten die ge-



I-1. Hoewel zebra's en paarden in gevangenschap vrij gemakkelijk met elkaar kruisen, waarbij doorgaans onvruchtbare nakomelingen ontstaan, komt dit in de natuur zelden voor. De dieren bewonen verschillende gebieden en leven in gesloten groepen die geen soortvreemde indringers toelaten.

I-2. Wie geen echte kenner is, kan nauwelijks uitmaken of de vogel op deze foto een fitis of een tijtjaf is. Het is een tijtjaf. Wie de vogels hoort, bemerkt direct het verschil. Beide soorten vertonen ondermeer door hun verschillende zang geen enkele neiging tot vermenigving.

3

3. Het scheiden van Afrika en Zuid-Amerika, bracht de splitsing tussen buidel-

dieren (zoals de buidelmuur) en placentale zoogdieren teweeg.

INTERMEZZO I



I-1

heel bestaan uit zelfbevruchters, de ultieme vorm van soloseks. Een gezamenlijke evolutie die heeft geresulteerd in een hoge mate van uiterlijke overeenkomst, maakt ze tot soort.

Ernstiger is het feit dat uiterlijke overeenkomst en verwantschap niet altijd samengaan. Individuen die meer op elkaar lijken hebben niet per definitie een grotere kans om levensvatbare nakomelingen te produceren. Zo kan een klein maar essentieel verschil in paringsgedrag er toe leiden dat twee soorten die uiterlijk vrijwel niet van elkaar te onderscheiden zijn, nooit met elkaar paren. Een soort kan echter ook bestaan uit uiterlijk zeer verschillende individuen die wel degelijk onderling levensvatbaar en vruchtbaar nageslacht opleveren.

Mede hierom zijn biologen de afgelopen jaren met een aantal andere soortdefinities gekomen. Als we soortvorming zien als een evolutionair genetisch proces, kan dit het best benaderd worden door te kijken naar welke evolutionaire processen inwerken op populaties en hoe die ervoor zorgen dat alle individuen in een populatie hetzelfde uiterlijk krijgen. Zo'n populatie verwerft als het ware de soortstatus.

Met dit doel voor ogen is het *cohesie-soortbegrip* beschreven: een soort is de meest-omvattende groep individuen die genetisch en/of demografisch uitwisselbaar zijn. De soort wordt nu dus beschreven met factoren die de verspreiding van nieuwe kenmerken door genenuitwisseling bepalen. Maar individuen

die tot één soort behoren, delen ook dezelfde ecologische *niche*, de unieke plaats die een soort in de levende natuur inneemt in het netwerk van relaties tussen alle soorten in een gebied. Daardoor is deze definitie ook toepasbaar op asexuele soorten. Wanneer bijvoorbeeld wandelende takken in twee verschillende gebieden precies dezelfde niche innemen, worden ze tot dezelfde soort gerekend, ook al planten ze zich alleen ongeslachtelijk voort.

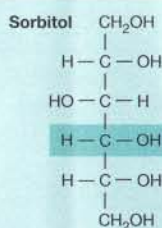
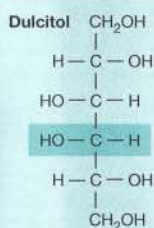


I-2

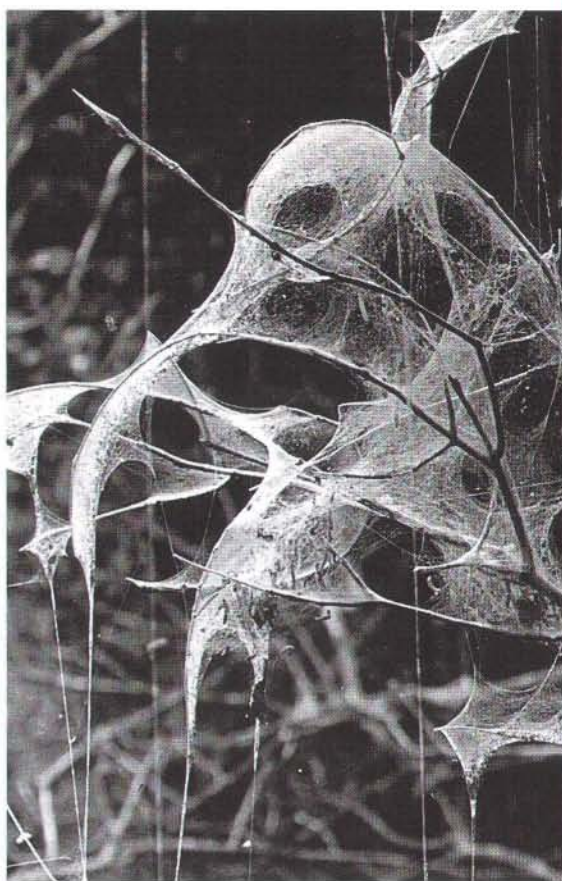
het zeer wel mogelijk dat toch een succesvolle overstap mogelijk is, zelfs als de nieuwe plant minder voedzaam is. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat de nieuwe voedselbron ruimer voor handen is, er minder concurrentie om het voedsel is of de natuurlijke vijanden hier (nog) niet aanwezig zijn. Naast een pure vergissing van het eileggende vrouwtje (de uit het ei komende rupsjes zijn vaak niet in staat een andere voedselpant op te zoeken als de keuze van hun moeder hen niet aanstaat), zijn dit stuk voor stuk oorzaken van een wisseling van voedselplant bij insecten. Experimenteel is dit natuurlijk lastig te onderzoeken.

4. Stippelmotrupsen beoordelen de geschiktheid van hun voedselplant op twee stoffen. Dulcitol komt voor op kardinaals-

muts en is onweerstaanbaar voor soorten die die plant eten. Sorbitol op roosachtigen heeft hetzelfde effect op rooseters.



4



5

Stippelmotten

Theoretische is sympatrische soortvorming inmiddels gedegen onderbouwd. Praktische aanwijzingen, laat staan bewijzen ervoor, zijn echter zeldzaam. Het stippelmottengeslacht *Yponomeuta* is een van de weinige voorbeelden. Vrijwel iedereen kent deze dieren van hun rupsen die in het voorjaar struiken en bomen (kardinaalsmuts, meidoorn, wilg, vogelkers) kaalvreten en overspinnen. Ze worden daarom ook wel spinselmotten genoemd.

We weten vrij zeker dat de stammoeder van alle stippelmotsoorten miljoenen jaren geleden op een kardinaalsmutsachtige plant voorkwam. Kardinaalsmuts bevat namelijk een aantal zeer giftige bestanddelen, zodat weinig insectensoorten in staat zijn hierop te overleven. Toch komt driekwart van de soorten bin-

Hoeveel genen maken een

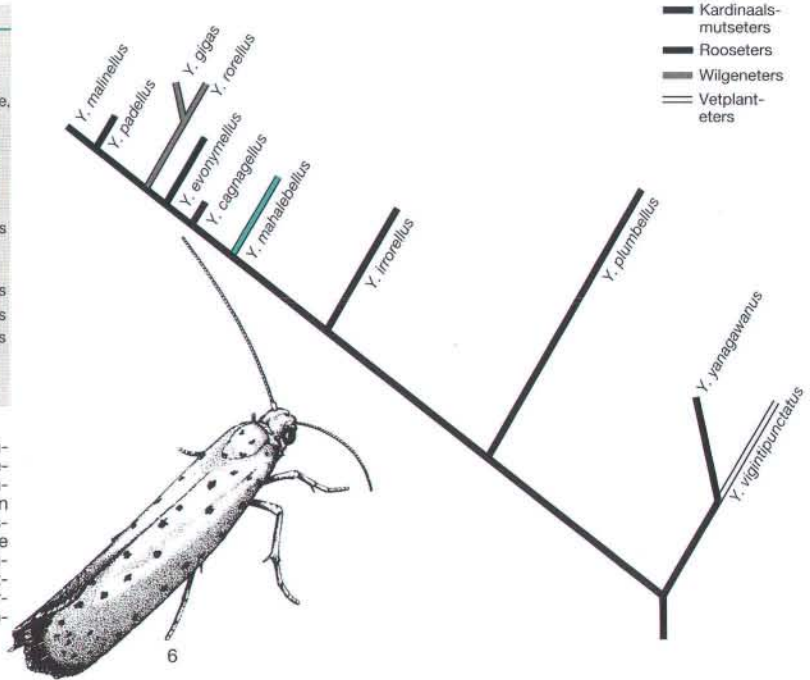
Kunnen nieuwe soorten ontstaan ten gevolge van veranderingen in één enkel gen? In het algemeen luidt het antwoord hierop nee. Immers, als voortplanting na een mutatie onmogelijk is, kan de mutatie zich niet in de populatie verspreiden en wordt ze weggeselecteerd. Als de mutatie zorgt voor isolatie ná de paring, zal het eerste mutant-individue, dat van de ene ouder een kopie van het oorspronkelijke gen en van de andere ouder een mutatie ontvangt, niet levensvatbaar of onvruchtbaar zijn. De mutatie gaat direct weer verloren. Als de mutatie al voor de paring isolatie veroorzaakt, komen er helemaal geen nakomelingen met de mutatie. Velen concludeerden dan ook dat soortvorming veranderingen in twee genen van een individu vereist.

nen het geslacht *Yponomeuta* voor op kardinaalsmuts. De rest van de familie bevat nog zo'n tweehonderd soorten, maar daarvan leven er slechts drie op kardinaalsmuts. In de loop van de evolutie zijn de resterende *Ypono-*

meuta-soorten vermoedelijk ontstaan door een overstap van de kardinaalsmuts naar de hiermee totaal niet verwante en chemisch zeer verschillende roosachtigen (zoals vogelkers). Hoe is dit in zijn werk gegaan?

Soort	Voedsel
<i>Y. malinellus</i>	Appel, peer
<i>Y. padellus</i>	Sleedoorn, Meidoorn, Krentenboom, Lijsterbes, Kerspruim
<i>Y. gigas</i>	Populier, Wilg
<i>Y. rorellus</i>	Wilg
<i>Y. evonymellus</i>	Vogelkers
<i>Y. cagnagellus</i>	Kardinaalsmuts
<i>Y. mahalebella</i>	<i>Prunus mahaleb</i>
<i>Y. irrorellus</i>	Kardinaalsmuts
<i>Y. plumbellus</i>	Kardinaalsmuts
<i>Y. yanagawarus</i>	Kardinaalsmuts
<i>Y. vigintipunctatus</i>	Hemelsleutel

5 en 6. Stippel- of spinelmotten zijn vooral bekend van dit beeld (5): ingesponnen kaalgevreten takken van kardinaalsmuts, wilgen en sommige roosachtigen. De stamboom geeft de verwantschap en voedselvoorkeur van elf soorten stipelmotten weer.



nieuwe soort?

INTERMEZZO II

Toch is dat niet helemaal waar. Er is één goed voorbeeld bekend van soortvorming die met één enkel gen te maken heeft: de tegengestelde draaiing van slakkenhuisjes. Bij bepaalde soorten kunnen links- en rechtsdraaiende individuen niet met elkaar paren, doordat ze niet op elkaar passen. Andere soorten zijn niet zo simpel voor één gat te vangen: daar is slechts sprake van het bemoeilijken van de paring.

Een eigenaardigheid van de erfelijkheid van de draairichting maakt een simpele en snelle soortvorming mogelijk. De overerving van het draaiingsgen is moederlijk, dat wil zeggen hangt af van het genotype van de moeder. Een Dd moeder (dankzij een dominant allel D linksdraaiend, maar draagster van de recessieve mutatie d voor rechtsdraaiend) krijgt

altijd linksdraaiende kinderen, ongeacht of hun allelencombinatie voor het draaiingsgen DD, Dd of dd is. Als haar kinderen met genotype dd nakomelingen krijgen, zijn die echter allemaal rechtsdraaiend. Een nieuw gen kan aldus vaker voorkomen dan bij gewone overerving, doordat alle individuen die ontstaan uit Dd-moeders nog de oorspronkelijke draaiing bezitten en dus kunnen paren. Zodra meer dan de helft van de populatie rechtsdraaiend is, zal natuurlijke selectie zorgen voor verdere toename. Deze selectie is immers frequentie-afhankelijk: hoe algemener een bepaald type is, des te makkelijker het is om een partner te vinden. Inderdaad zijn er aanwijzingen dat slakken relatief snel nieuwe soorten kunnen voortbrengen.

Voedselherkenning en voedselverandering

Insekten nemen met hun zintuigen plantenstoffen waar. Deze stoffen vertellen of dit de geschikte plant is om eieren op af te zetten of om te consumeren. Rupsen van stippelmotten blijken hun beslissing om wel of niet te gaan eten te baseren op een zeer beperkt aantal plantestoffen. Het gaat vooral om twee suikeralcoholen, dulcitol en sorbitol. Dulcitol komt voor in kardinaalsmuts en zet alle soorten stippelmotten die van nature op kardinaalsmuts voorkomen, aan tot eten. Sorbitol, aanwezig in vrijwel alle roosachtigen, heeft eenzelfde effect op rozeneters.

De overstap van bijvoorbeeld kardinaalsmuts naar de vogelkers lijkt weinig veranderingen in de zintuiglijke waarneming en verwerking te vereisen. Blad van vogelkers dat kunstmatig voorzien is van dulcitol kan aantrekkelijk en ook geschikt zijn als voedsel voor kardinaalsmuts-eters zoals *Y. cagnagellus*. Het omgekeerde geldt niet: *Y. evonymellus*, die op vogelkers leeft, accepteert nooit kardinaalsmuts. Ook niet als die met sorbitol op smaak is gebracht. Blijkbaar bevatten kardinaalsmutsen teveel onaanneembare stoffen.

Sommige roosachtigen (waaronder vogelkers en sleedoorn) bevatten van nature ook dulcitol, zij het in veel lagere concentraties dan kardinaalsmuts. Een overstap in het evolutionair verleden van kardinaalsmuts naar vogelkers is dan ook goed voorstelbaar. Hoe een eileggend vrouwtje de aanwezigheid van dulcitol waarneemt en de juiste keuze maakt, is bij stippelmotten nog onbekend; van andere vlindersoorten is bewezen dat zij zintuigorganen in de poten bezitten om dergelijke keuzen te maken.

Als soortvorming bij stippelmotten ook nu nog doorgaat, moeten we in de natuur verschillende fasen in het geleidelijke proces dat

leidt tot nieuwe soorten, kunnen tegenkomen. Inderdaad verschillen populaties van de meidoornstippelmot die leven in hetzelfde gebied, maar wel op andere voedselplanten, genetisch meer van elkaar dan populaties van deze soort die tientallen of zelfs honderden kilometers verderop voorkomen. Bovendien blijken dieren die als rups op kerspruim hebben geleefd ook als volwassen vlinders door deze plantesoort te worden aangetrokken. In de toekomst kan dit leiden tot een nieuwe soort op kerspruim.

De kennis benut

De fundamenteel-wetenschappelijke kennis over evolutionaire en functionele relaties tussen zich met planten voedende insecten, hun voedselplanten en hun natuurlijke vijanden is van essentieel belang om een optimale biologische bestrijding van insectenplagen moge-



7



8



9

7 en 8. Na kaalvraat van kardinaalsmuts verdwijnt het spinsel geleidelijk en lopen de struiken weer uit. Ze gaan bloeien en dragen in de herfst oran-

je-roze vruchten, die de plant haar naam geven.

9. Het milieu is de drijfver-
de kracht achter soortvor-
ming en evolutie. Veenge-

bieden bijv., zijn zo voed-
selarm, dat planten er al-
leen met speciale voorzie-
ningen kunnen overleven
en dus evolueren. Vlees-
eten is een oplossing.

10. Gedetailleerde kennis van soorten en hun voed-
selrelaties komt van pas
bij de keuze van geschik-
te natuurlijke vijanden
voor de biologische be-
strijding van plagen. Zo
parasiteert deze sluip-
wesp alleen op stippel-
motten.



10

lijk te maken. Zo wordt de appelstippelmot bestreden door het massaal uitzetten van de sluipwesp *Agonaspis fuscicollis*. De stippelmotten in de windsingels om de boomgaarden (op meidoorn, sleedoorn, wilg enzovoort) tasten geen appelbomen aan. Zij hoeven dus niet te worden bestreden.

Het tempo waarin heden ten dage soorten uitsterven, kent zijn weerga niet in de geschiedenis van het leven. Zoals uit fossielen blijkt is uitsterven natuurlijk, maar het is bepaald niet dramatisch als men beseft dat in driekwart van de gevallen dochtersoorten een voorouder vervangen. We kunnen die evolutie alleen begrijpen als we weten hoe nieuwe soorten kunnen ontstaan. Het zal duidelijk zijn dat vele verschillende disciplines ieder hun bijdrage moeten leveren voor een compleet begrip van het soortvormingsproces.

Tegenwoordig betekent uitsterven een onherstelbare verarming van de soortenrijkdom en we hoeven niet te twijfelen over de oorzaak: het menselijk vermogen om uitsterving te bevorderen is goed gedocumenteerd. Ken-

nis over soortvorming draagt bij aan verantwoording natuurbehoud. Dit betreft dan niet alleen kennis om de huidige biodiversiteit op korte termijn te behouden, maar vooral ook om op de langere termijn de omstandigheden te scheppen waaronder soorten kunnen evolueren tot nieuwe soorten. Het behoud van genetische variatie binnen een soort is daarvoor essentieel.

Literatuur

- Schoonhoven LM. Geurenrijk - De chemische wereld der insecten. Natuur & Techniek 1993; 61: 8, 644-655.
Fullick A, Fullick P. Biologische bestrijding. Natuur & Techniek 1992; 60: 3, Kijk op Wetenschap.
Bakker K. Seks - Oorsprong en betekenis van geslachtelijke voortplanting. Natuur & Techniek 1991; 59: 7, 512-527.

Bronvermelding illustraties

- Bruce Coleman Ltd., Uxbridge, UK: 3, I-1 en 9
Hans Gebius/Foto Natura, Wormerveer: I-2
Geert Hendrickx, Maastricht: 7
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

Waarom verschilt het weer in de diverse werelddelen en op verschillende momenten van het jaar? De belangrijkste oorzaken blijken de schuine stand van de draaiende aarde ten opzichte van de zon en de verdeling van land en zee.

John Gribbin

De verandering van het klimaat is in de jaren negentig een belangrijke kwestie geworden. Er heerst steeds meer bezorgdheid over de verwachte wereldwijde verwarming, die rond de komende eeuwswisseling moet optreden. Maar wat verandert er en hoe? Voordat we kunnen beginnen met het beantwoorden van deze vragen, moeten we eerst weten hoe het klimaat werkt.

De eenvoudigste definitie van **klimaat** is het 'gemiddelde weer' van een strek. Er zijn gebieden waarin de temperatuur het hele jaar ongeveer gelijk blijft, terwijl in andere streken hete zomers en koude winters heersen. In sommige gebieden regent het in de regel elke maand, terwijl in andere natte seizoenen in nauw omschreven perioden voorkomen en ga zo maar door. De energie die al deze weerpatronen aandrijft, komt van de zon. De aarde neemt deze energie vooral op in de tropen, vlak bij de evenaar. Een deel van de energie verspreidt zich naar hogere geografische breedten, wat circulaties en stromingen in de atmosfeer en oceaan te-

weegbrengt. Deze circulatiepatronen worden sterk beïnvloed door de geografische verdeling van land en zee, de schuine stand van de aarde en de wijze waarop de aarde om haar as tolt.



De bodem absorbeert de helft van de zonnestraling. Bijna een derde wordt teruggekaatst.

Eenvoudige circulatie

Aarde en zon

De aarde is een bijna bolvormige planeet die elk jaar één keer in een nagenoeg cirkelvormige baan op een gemiddelde afstand van 150 miljoen kilometer om de zon draait. Alhoewel de baan

een beetje elliptisch is en wij in sommige maanden iets dichterbij de zon zijn dan in andere maanden, is dit niet de oorzaak van de wisselingen van het weer tussen de seizoenen. Anders, zou 't op de hele aarde op het zelfde moment winter zijn. In werkelijkheid is het noordelijk halfrond 's winters op 3 januari het dichtst bij de zon – 147 miljoen kilometer. Op 3 juli is de afstand van de aarde tot de zon het grootst, 153 miljoen kilometer, nog wel als er zomer is op het noordelijk halfrond.

Als onze planeet een gelijkvormige bol was die tolde om een as die loodrecht stond op het vlak waarin de bol een baan om de zon beschrijft, dan zou er een zeer eenvoudig patroon van atmosferische circulatie zijn. Dit denkbeeldige patroon vormt de basis voor ons begrip van de huidige circulatie van de atmosfeer, die wordt aangedreven door het verschil tussen de verwarming van de tropen en de polen door de zon.

Door de kromming van de aardbol helt het oppervlak van de planeet weg van het invallende zonlicht. De hoeveelheid zonne-energie die

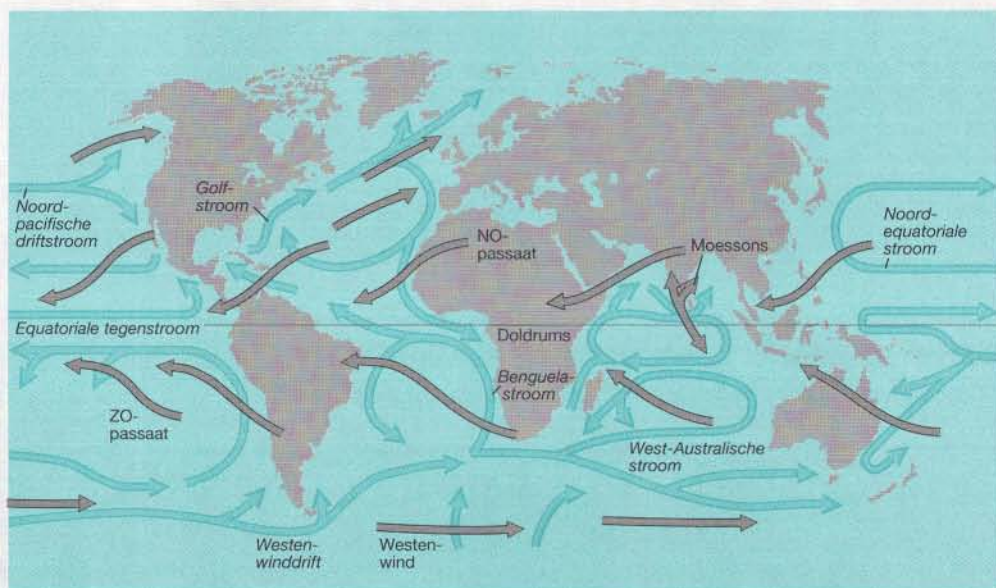
bij de evenaar op een vierkante meter valt, komt op steeds grotere afstand van de evenaar over een alsmaar groter gebied terecht. Daardoor is het op hogere geografische breedten koeler dan op lagere. Evenzo is het effect van de verwarming door de zon vroeg in de morgen en laat in de avond minder dan rond het middaguur wanneer de zon hoog boven ons staat.

energie wordt in de onderste lagen van de atmosfeer geabsorbeerd, met het gevolg dat de temperatuur daar toeneemt – het zogenaamde **broeikaseffect**. Hierdoor ontstaat convectie, een stromingsverschijnsel dat we ook kunnen waarnemen bij het koken van water in een pan. In een waterkoker kunnen we stofdeeltjes zien bewegen. Boven de warmtebron

De Hadley-cel

Warme lucht voor koude

De atmosfeer aan het oppervlak bij de evenaar wordt flink opgewarmd door zonnestraling en stijgt daardoor op. Er heerst daardoor bij de evenaar een lage-drukgebied. Vanwege de onderdruk aan het oppervlak,



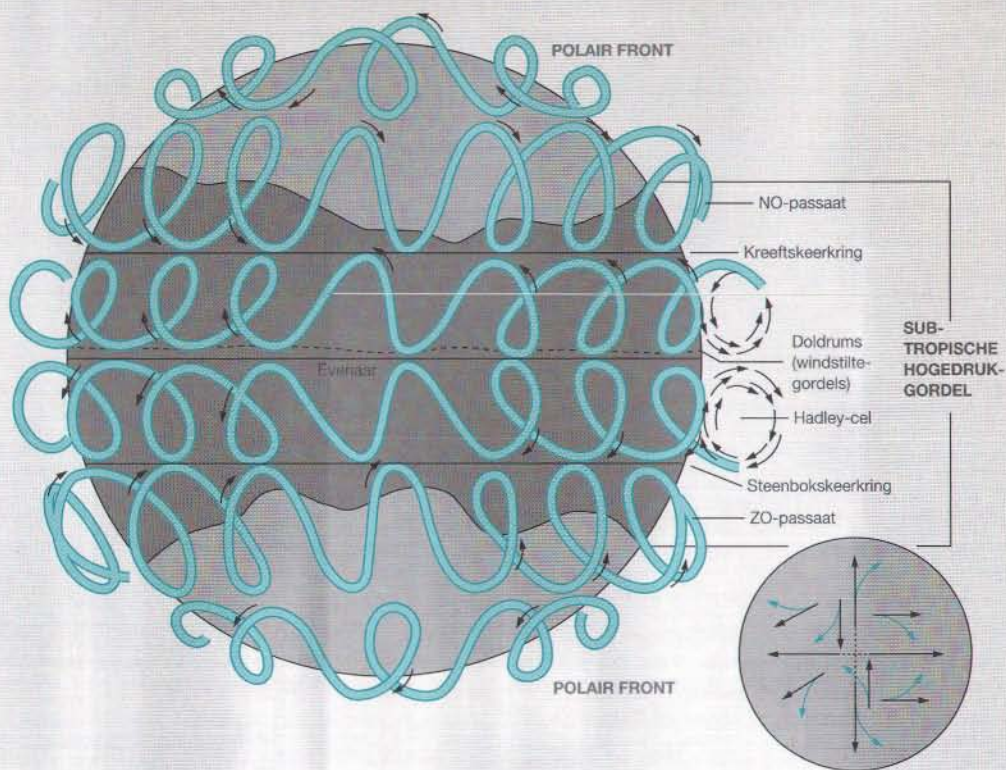
De corioliskracht, een denkbeeldige kracht, buigt winden en oceanstromen op het noordelijk halfrond

naar het oosten af en op het zuidelijk halfrond naar het westen.

Invallende zonne-energie bestaat in hoofdzaak uit zichtbaar licht dat niet door de aardse atmosfeer is geabsorbeerd. Als deze straling het aardoppervlak verwarmt, gaat het oppervlak op zijn beurt energie uitstralen, maar met grotere golflengten, hoofdzakelijk infrarood licht. Veel van deze

stijgen ze op, dan verplaatsen ze zich zijwaarts, waarna ze bij de wand weer zinken. Deze beweging ontstaat door het gedrag van het water, dat zich bij opwarming uitzet en bij afkoeling weer een kleiner volume inneemt. Lucht gedraagt zich op gelijke wijze in de atmosfeer.

komt er vanuit het noorden en het zuiden koelere lucht naar de evenaar – de **passaatwinden** – die bij opwarming ook weer stijgt. De reeds opgestegen warme lucht wordt daardoor naar grotere hoogten gestuwd terwijl zij langzaam afkoelt. Op grote hoogte gaat ze zijwaarts bewegen, van de



evenaar af, waarbij ze verder afkoelt. Ongeveer ter hoogte van de dertigste breedtegraad – in de subtropen aan weerszijden van de evenaar – zuigen de passaatwinden de afgekoelde lucht weer naar het oppervlak. Zo ontstaat aan beide zijden van de evenaar een circulatiepatroon dat bekendstaat als de **Hadley-cel**, genoemd naar de 18e-eeuwse Britse pionier van de meteorologie, George Hadley.

Poolwaarts van het gebied dat door de circulatie van het Hadley-type wordt gedomineerd, is het patroon van atmosferische convectie ingewikkelder. We kunnen het ons echter ruwweg voorstellen als nog twee cellen op elk halfrond.

In het algemeen beweegt warme lucht van de evenaar in de richting van de polen, waarbij ze plaatsmaakt voor koude lucht die naar de evenaar toe stroomt. Opstijgende lucht brengt men in verband met lage druk aan het aardoppervlak. Als de opstijgende lucht afkoelt, ontstaat er regen. Dalende lucht is droog en veroorzaakt een hoge druk aan het oppervlak.

Zelfs zo'n eenvoudige weergave van atmosferische circulatie kan de algemene kenmerken van het klimaat verklaren, zoals de warme, natte tropen en de woestijngebieden net daarbuiten. Maar zelfs in dit vereenvoudigde plaatje waaien de winden op geringe hoogte niet precies langs de noord-

De draaiing van de aarde stuwt de Atlantische Oceaan tegen de kust van Amerika op. Wetenschappers maakten met radarmetingen van de ERS-1 een topografische kaart van het oceaanooppervlak die hoogteverschillen tot enige tientallen meters toont. Het zeeoppervlak weerspiegelt de bodem. (ESA/Carel Wakkers, TU Delft)

zuidas. Daarvoor is de draaiing van de aarde verantwoordelijk.

Elk punt aan het oppervlak van de aarde voltooit in 24 uur één omwenteling. Dicht bij de polen houdt dit in dat zo'n punt een kleine cirkel beschrijft met een erg lage lineaire snelheid. Maar aan de evenaar gaat het om een snelheid van 470 m s^{-1} en op 60 graden noorder- of zuiderbreedte om een lineai-

re snelheid van 224 ms^{-1} , altijd van west naar oost. Lucht die afkomstig is van de evenaar en die door convectorie poolwaarts wordt gevoerd, neemt dus een hoeveelheid van beweging mee, een impuls van de aanvankelijke, hoge west-oostsnelheid. En als de lucht weer naar het oppervlak terugkeert, beweegt ze sneller in oostelijke richting dan ze op die breedte hoort te doen. De winden die vanaf het equatoriale gebied in de richting van de polen waaien, buigen dus af naar het oosten. Daarom overheersen op de breedte van bijvoorbeeld Nederland en België of Nieuw-Zeeland

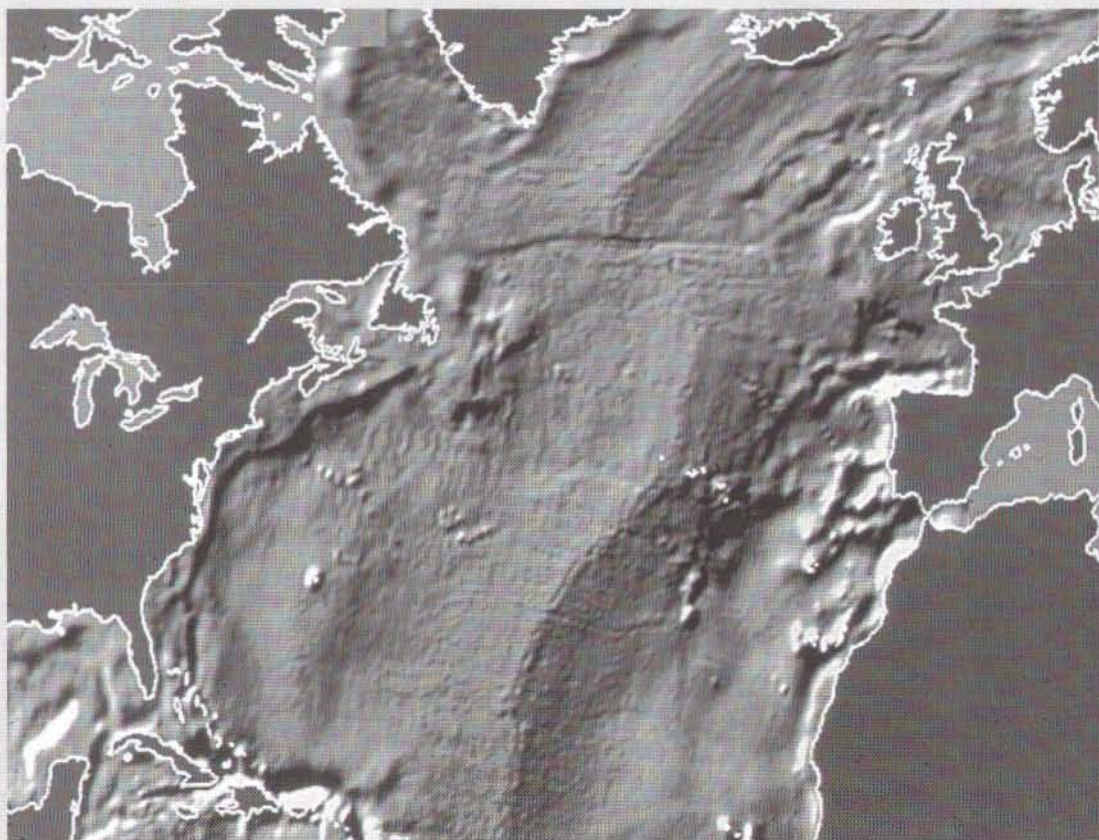
weersystemen die vanuit het westen komen.

Voor een waarnemer op aarde, is het net alsof er een kracht is die winden van west naar oost voortstuwt en die krachtiger is naarmate de winden verder van de evenaar af zijn. Dit noemt men de **corioliskracht**. Net als bij de centrifugale kracht, is het effect volkomen echt voor iemand die zich er middenin bevindt. Maar omdat het geheel door draaiing wordt veroorzaakt, noemt men de corioliskracht soms, verwarrendwijs, een denkbeeldige kracht.

Lucht die op geringe hoogte naar de evenaar terugkeert, heeft een lineaire snelheid

die hoort bij de draaiing van de aarde op hogere geografische breedten. In feite worden deze heersende winden – de **passaten** – door het oppervlak van de roterende aarde ingehaald als ze naar lagere breedten bewegen, zodat ze in plaats van loodrecht naar de evenaar te waaien, diagonaal naar het westen gaan.

De evenaar waar de passaten naar toe waaien is de meteorologische evenaar, de breedtegraad waar de zon gedurende het middaguur precies boven staat. De geografische breedte waarop dit gebeurt, verandert gedurende het jaar. Daardoor ontstaan de seizoens-



veranderingen van het klimaat. Het gebied tussen de uiterste noord- en zuidgrens van de meteorologische evenaar noemt men de **intertropische convergentiezone** (ITCZ). Die ontstaat door de hoek van $23,5^\circ$ die de aardas maakt met de lijn loodrecht op het vlak waarin de aarde een baan om de zon beschrijft. Daardoor wordt óf het noordelijk óf het zuidelijk halfrond sterker verwarmd, omdat de zon daar dan hoger aan de hemel komt en dagelijks meer dan twaalf uur boven de horizon staat. Op het andere halfrond staat de zon op gelijke geografische breedte op het middaguur minder hoog boven de horizon en heerst er meer dan twaalf uur nacht. Omdat de aarde zijn stand in de ruimte handhaaft terwijl hij om de zon draait, krijgen het noordelijk en zuidelijk halfrond om de beurt winter en zomer.

Tussen $23,5^\circ\text{NBr}$ (**kreeftskeerkring**) en $23,5^\circ\text{ZBr}$ (**steenbokskeerkring**) zal de zon tenminste een dag per jaar loodrecht aan de hemel staan. Buiten de tropen gebeurt dat nooit. De zon staat elk jaar tijdens het middaguur rond 22 juni loodrecht boven de kreeftskeerkring en rond 23 december loodrecht boven de steenbokskeerkring. Halverwege tussen deze twee data staat de zon op het middaguur loodrecht boven de evenaar. Op de gehele planeet is het dan twaalf uur lang dag en twaalf uur lang nacht. Het atmosferisch circulatiepatroon past zich voortdurend aan de veranderde verdeling van energie over de planeet aan. De

GELIJKMATIGE EN WISSELVALLIGE KLIMAATZONES

Tropisch weer is altijd hetzelfde: heet en nat. Buiten de tropen, op geografische breedten rond 20° waar de Hadley-circulatie voor dalende lucht zorgt, is het weer net zo voorspelbaar: heet en droog. Dalende lucht wordt warmer omdat de druk toeneemt als zij zich ophoopt boven het onderliggende oppervlak, zoals lucht in een fietspomp warm wordt bij het samenpersen. Tussen de droge woestijngebieden en de natte tropische gebieden is het weer het gehele jaar door minder bestendig. De geografische breedten met woestijnen tropische regens verschuiven met de seizoenen. Sommige gebieden zoals noordwest-India zijn daardoor voor het grootste deel van het jaar droog, maar krijgen in de moessontijd tropische regenval. Poolwaarts van de hete woestijnen wordt het weerpatroon gedomineerd door westenwinden, die vooral in de winter regen brengen in gebieden die aan de westkant van de continenten liggen. Dit is het mediterrane klimaattype, dat in de Middellandse Zee voorkomt, maar ook in Californië en in delen van Australië. Verder naar het noorden en naar het zuiden liggen de gematigde klimaatzones en de gebieden met continentaal klimaat. Koud, polair weer op de hoogste breedtegraden maakt het algemene beeld compleet. De gematigde zones, tussen de polaire kou en de mediterrane warmte, ondervinden dezelfde klimaatsvariëaties als de moessongebieden, met opvallende temperatuurwisselingen.

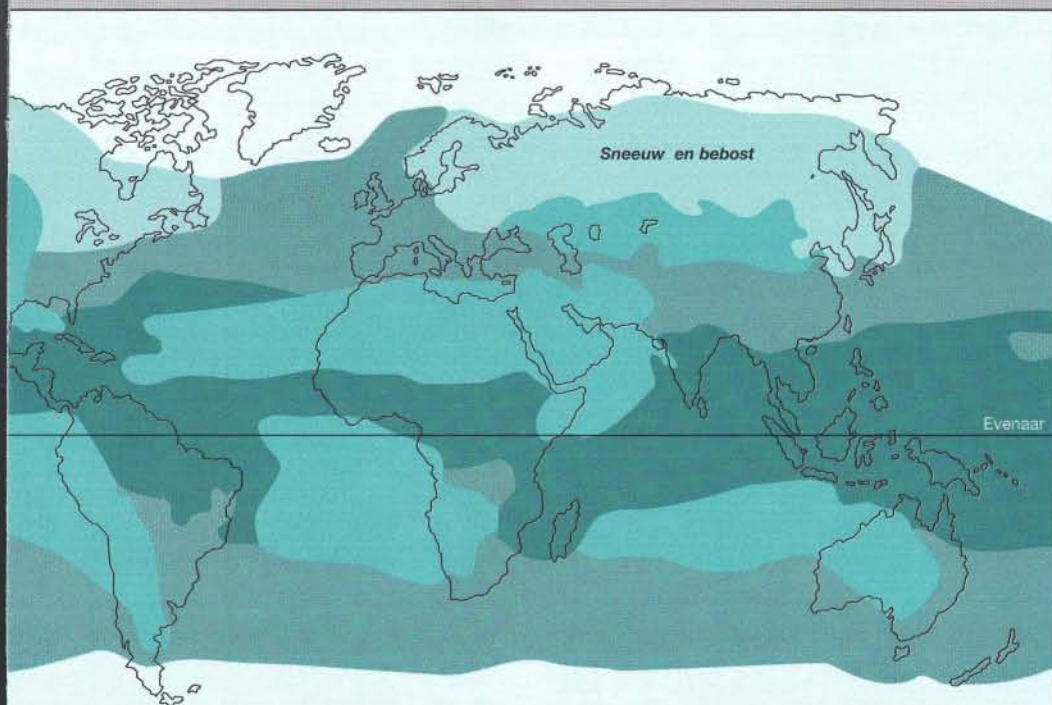


voornaamste windgordels verschuiven mee met de zich verplaatsende meteorologische evenaar. Bergen buigen de winden op geringe hoogte af en zorgen daarmee voor verdere complicaties van het simpele circulatiepatroon. Met de manieren waarop oceanen, land en ijskappen reageren op de verwarming door de zon, moet ook rekening worden gehouden. Daarnaast heeft de circulatie van de oceanen grote invloed op het klimaat.

Geheel op zee

Rondraaiende stromingen

De grote stromingen aan het oceaanooppervlak ontstaan door de invloed van de heersende winden die gestaag over de zee waaien. Net als de atmosferische circulatie, worden ze beïnvloed door de rotatie van de aarde. Maar in tegenstelling tot winden kunnen ze onmogelijk landmassa's over-



De Russische klimatoloog Köppen (1846-1940) onderscheidde vijf hoofdtypen van klimaat. De verdeling van het landoppervlak zorgt ervoor dat de klimaattypen niet netjes in gordels voorkomen.

steken. Het overheersende patroon van de oppervlakte-oceaanstromen is daardoor een nagenoeg cirkelvormige stroming, die in elk van de grote oceanenbekkens optreedt. Deze stromen draaien op het noordelijk halfrond met de klok mee en op het zuidelijk halfrond tegen de klok in. De voornaamste uitzondering op dit patroon is de stroming die oostwaarts om Antarctica gaat – landmassa's versperren op het noordelijk halfrond een gelijkwaardige stroom.

Binnenin de circulatie van deze ronddraaiende stromen, hoopt het water zich op in een koepel zodat, bijvoorbeeld in de Sargassozee, het zeewaterniveau ongeveer één meter hoger is dan bij de dichtstbijzijnde kust. Het effect van de draaiing van de aarde is alsof een kracht alles in de oceaan in westelijk richting duwt. Deze kracht hoopt water op langs de westelijke rand van de oceanenbekkens. Daardoor is het zeeniveau in de Caraïbische Zee

een klein beetje hoger dan het zeeniveau in de Grote Oceaan aan de andere kant van het Panamakanaal. Door de draaiing van de aarde van west naar oost wordt het water tegen de 'rug' van de oceanenbekkens opgestuwd. Dit effect drukt de ronddraaiende stromen tegen de westrand van de oceanenbekkens en ontstaan er smalle, snelle stromingen zoals de **Golfstroom**. De tegenstroom langs de oostelijke kant van de bekkens is langzamer en breder.

De Golfstroom in het bijzonder vervoert op een zeer efficiënte wijze warmte eerst noordwaarts en vervolgens dwars over de Atlantische Oceaan in oostelijke richting. Daarom heersen er in West-Europa zachtere winters dan in de meeste gebieden op vergelijkbare breedten zoals Zuid-Argentinië. Andere oceaanstromen zijn minder betrouwbaar dan de Golfstroom.

De atmosferisch-oceanische circulatie van het Pacificke bekken schijnt twee mogelijkheden te kennen, één met warm oppervlaktewater in het westen en koud oppervlaktewater in het oosten en één met de omgekeerde toestand. In beide gevallen produceert het warme deel van het oceaanoppervlak een convectiepatroon, waarbij winden helemaal van de andere kant van de oceaan naar het warme gebied toewaaien. Deze winden duwen warm oppervlaktewater naar het warme gebied, waardoor in hun zog kouder water uit de diepte aan het oppervlak komt en het patroon blijft gehandhaafd. Om nog steeds onbegrijpelijke redenen wordt het patroon van tijd tot tijd onderbroken waarbij het omkeert. Dit veroorzaakt uitgesproken weersveranderingen in verueteengelegen gebieden zoals Australië en Zuid-Amerika.

Het verschijnsel waarbij de temperatuur van het oceaanoppervlak bij Zuid-Amerika toeneemt, heet **El Niño**; het staat in verband met een veel groter patroon van veranderingen, dat ruwweg elke twee jaar optreedt en dat de Zuidelijke Oscillatie

wordt genoemd. Er is enig bewijs dat de **Zuidelijke Oscillatie** het weer op wereldschaal beïnvloedt en bijvoorbeeld verantwoordelijk is voor de intensiteit van de Afrikaanse moesson.

De diepte in

De lopende band van de oceanen

Naast de invloed die de oppervlaktestromen hebben, beïnvloedt de oceaan het klimaat door zijn eigen convectiepatroon. Net als de atmosfeer wordt de oceaan aan het aardoppervlak verwarmd. Maar terwijl het oppervlak van de aarde de ondergrens van de atmosfeer is, vormt het de top van de oceaan. Het water dat in de tropen door de zon wordt verwarmd kan dus niet meer door convectie stijgen. In plaats daarvan ontstaat er een oceanische convectie vanuit de poolgebieden. Daar zinkt koud, zoutrijk water in de diepte om vervolgens op weg te gaan naar de evenaar.

Het water met de grootste dichtheid komt voor in het gebied bij Antarctica. Daar bevriest zeewater bij een temperatuur van ongeveer $-1,9^{\circ}\text{C}$ tot ijs. Ijs is zoetwater, zodat het overblijvende zeewater zouter is en daarom een grotere dichtheid heeft. Het stroomt het continentale plat af en vormt een grote stroom die bekendstaat als de **Antarctische bodemstroom**. Deze koude, dichte waterstroom draait op een diepte van ongeveer vier kilometer om Antarctica heen en heeft zijtakken in de diepe bekkens

van de Atlantische, de Grote en de Indische Oceaan. Deze diepe, koude stromen zijn met elkaar verbonden tot een netwerk van stromen die water rondom de wereld transporteren.

De Europese Ariane-4-raket bracht de Meteosat-5-satelliet naar een geostationaire baan boven de evenaar. De weersatelliet houdt bijna de halve aardbol in de gaten. Mede dankzij weersatellieten krijgt men dagelijks een redelijk goed idee van het weer over vijf dagen. (ESA, Parijs)

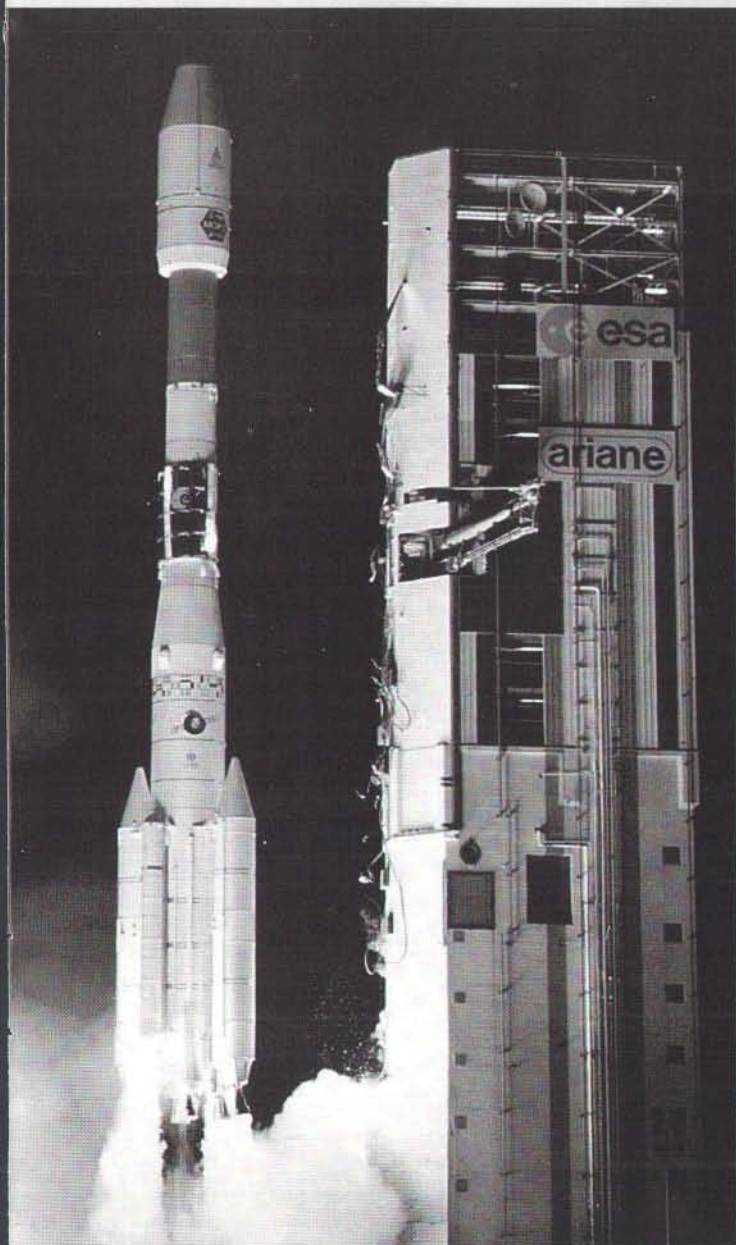
Het systeem is te vergelijken met een **oceanische lopende band**, die nu ten gunste van de noordelijke Atlantische Oceaan werkt. De oppervlaktestromen die warm water naar het noor-

den van de Atlantische Oceaan brengen, kunnen helemaal tot in de Indische en Grote Oceaan worden teruggedrukt. Het water staat zijn warmte af aan koude winden die vanuit Canada

over de noordelijke Atlantische Oceaan waaien en zinkt, waarmee de omgekeerde convectie van de diepe-oceaanstromingssysteem is begonnen. De hoeveelheid warmte die het water daar elk jaar weer afstaat, is bijna een derde van de hoeveelheid die het gebied van de zon krijgt. Dit komt hoofdzakelijk ten goede aan Europa, dat benedenwinds van de oceaan ligt. Koude, diepe stromen voeren het water terug naar de Indische en de Grote Oceaan, waar het water nog een keer opstijgt (opgestuwd door de stroom erachter) en warm wordt als het de lange terugreis naar de noordelijke Atlantische Oceaan begint.

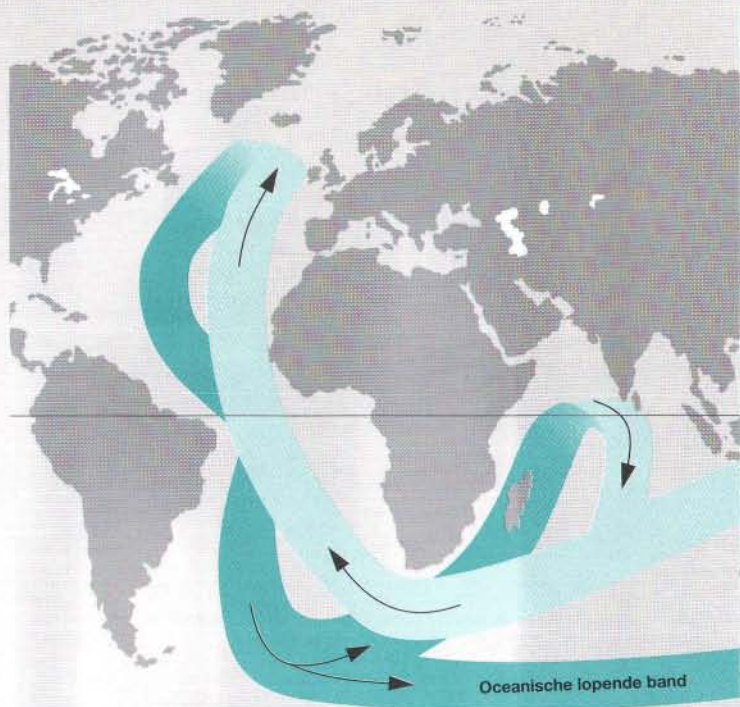
Het patroon blijft in stand door zout. Dankzij de lopende band is de noordelijke Atlantische Oceaan warmer dan de noordelijke Grote Oceaan en er verdampt verhoudingsgewijs meer water. Het resterende water heeft een hogere zoutconcentratie en daardoor een grotere dichtheid, die het zinken bevordert. De hieruit voortkomende koude, diepe stroming begint als de **Noord-Atlantische diepwaterstroom**, een oceanische 'rivier' die twintig keer zoveel water vervoert als alle rivieren op aarde tezamen. Uiteindelijk brengt hij het zout naar de Grote Oceaan waar door verdunning de dichtheid van het water in de stroom afneemt.

Het hele patroon onderhoudt zichzelf. Het zou zich bovendien precies zo in stand houden als het in omgekeerde richting zou verlopen en de noordelijke Grote Oceaan zou verwarmen in



Koud water zinkt bij de polen en stroomt langs de oceaanbodem naar warmere zeeën. Het komt aan de oppervlakte, warmt weer op en stroomt naar koude streken. Het lijkt een oceanische band.

plaats van de noordelijke Atlantische. Zou de lopende band tot stilstand komen, dan koelde het land rondom de noordelijke Atlantische Oceaan ongeveer 6°C af. Klimatologen hebben bewezen gevonden van plotselinge klimaatsprongen tijdens de laatste stadia van de recentste ijstijd – die ongeveer 15 000 jaar geleden eindigde. Er waren verscheidene temperatuurschommelingen in het gebied van de noordelijke Atlantische Oceaan. De laatste koude periode van de ijstijd – die bekendstaat als **Jongere Dryas** – eindigde 10 720 jaar geleden. In Noord-Groenland trad een temperatuurstijging van 7°C op, maar hetzelfde gebied warmde ook 4°C op in de jaren twintig van deze eeuw. Er is nu een aanwijzing – maar ook niet meer dan dat – dat zulke sprongen van het klimaat van de ene stabiele toestand naar de andere kunnen samenhangen met omkeringen van de oceanische lopende band, net zoals gebeurt met de Zuidelijke Oscillatie, maar dan op een veel groter schaal. Sommigen zijn bezorgd, dat zo'n sprong opnieuw gaat optreden. Dat zou mogelijk het gevolg kunnen zijn van de verstoring van natuurlijke klimaat-systemen door de mens, doordat die een extra hoeveelheid belastende broeikasgassen toevoegt aan de atmosfeer.

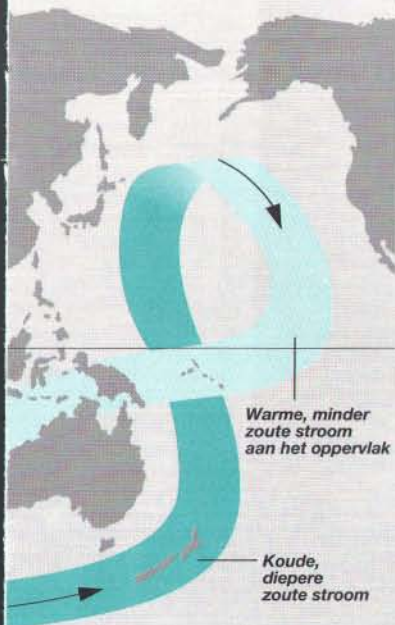


Koel blijven: ijstijden

Verschuivende werelddelen

De derde natuurlijke gesteldheid die het klimaat van nu bepaald – na de circulatie van lucht en zee – is de geografie van de aardbol. Lichtelijk overdreven kan men zelfs spreken van de 'circulatie' van het land – net als van de lucht en de zee – omdat de geografie niet vastligt, maar verandert wanneer continenten over het aardoppervlak bewegen ten gevolge van de platen-tectoniek. De voornaamste invloed die het land op het huidige wereldklimaat heeft, is zijn rol bij het tegenhou-

den van water waardoor dat niet naar de polen kan stromen. Gedurende het grootste deel van de geschiedenis van de aarde kon water van de tropen doordringen tot in de poolstreken, waardoor zelfs die gebieden vrij van ijs bleven. De bedekking van de polen met ijs in het huidige klimaat zorgt voor een goede weerkaatsing van de inkomende zonne-energie. De **albedo**, een maat voor het weerkaatsend vermogen van een oppervlak, is wel 80% voor de poolijskappen, terwijl de aarde als geheel een albedo van 40% heeft. Gedeeltelijk daarom en deels omdat de ijsbedekking fungeert als een isolerend deksel op het warme water eronder, zou het verdwijnen van de



noordpoolijskap een verstrekkende invloed op het klimaat hebben.

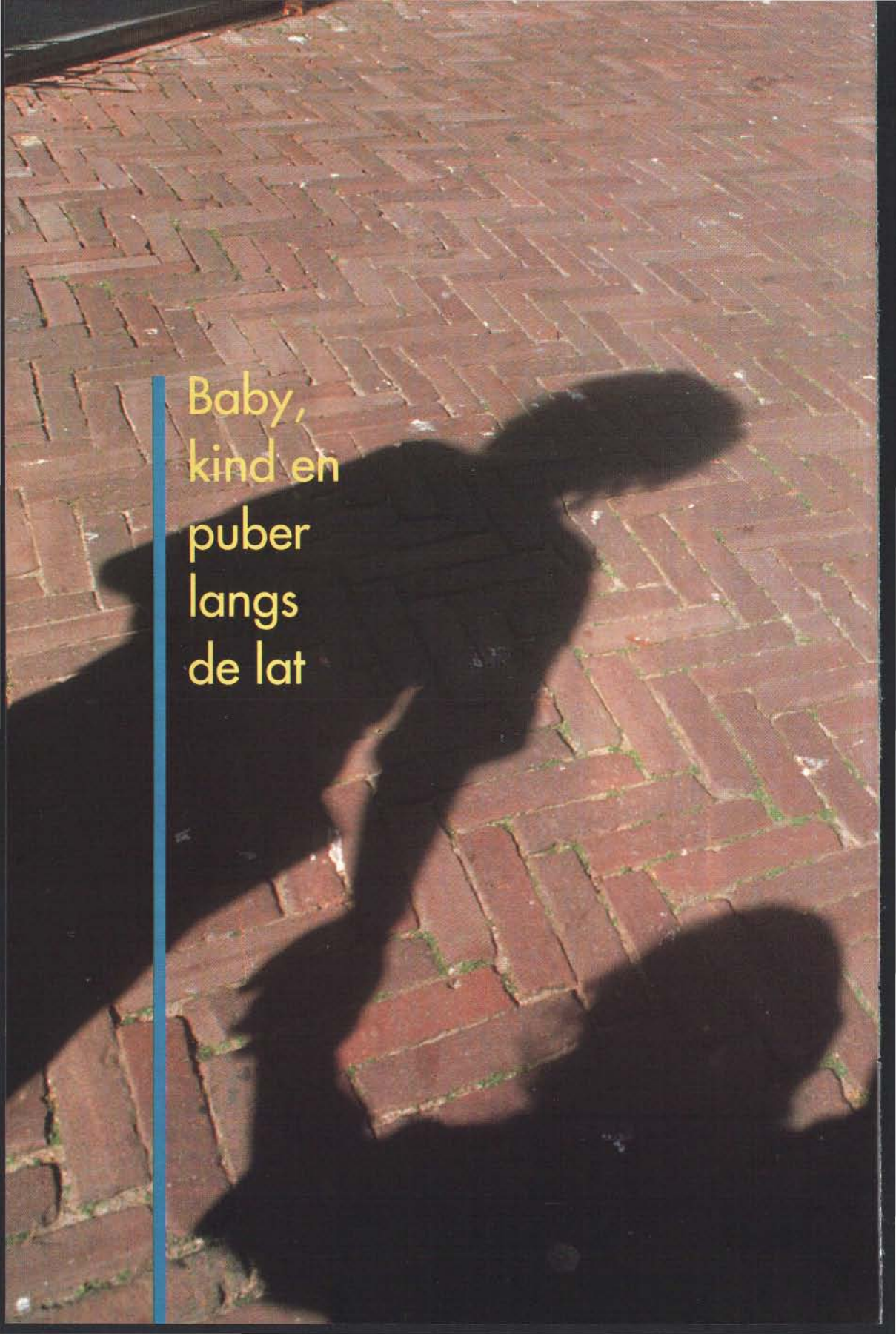
Er is geopperd dat voor het smelten van de poolijskappen de aarde ongeveer 4°C warmer moet worden. De rand van de drijvende ijskap zou door de temperatuuroptename smelten. Er zou meer 'donker' water vrijkomen, dat meer zonne-energie kan absorberen en daardoor opwarmt. Zo versnelt het smelten tot al het ijs

weg is. De gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de lucht boven de Noordpool bedraagt nu ongeveer -34°C. Met het verwijderen van de ijskap – aanvankelijk ten gevolge van de verwarming met maar 4°C – zou in de winter de luchttemperatuur aan het oppervlak van de Noordpool stijgen naar +4°C, een stijging van 38°C. IJstijden waren zeldzaam gedurende het grootste deel van de 4,5 miljard jaar lange geschiedenis van de aarde. Slechts af en toe dreven landmassa's over één van de twee polen, waarbij ze de toevoer van warm water uit de tropen afsneden en een ondergrond vormden waarop sneeuw kon ophopen tot ijskappen. Het huidige Antarctica is het schoolvoorbeeld van zo'n zeldzame geografische gebeurtenis. De afkoeling en de bevroering van Antarctica begon zo'n veertig miljoen jaar geleden. Men brengt het in verband met veranderingen in oceaanstromingen in die tijd. De grote Antarctische ijskap bestaat al vijftien miljoen jaar. Het is veel moeilijker om voorwaarden te scheppen die nodig zijn voor het bevroeren van de oceaan aan de pool. Drijvende ijskappen zoals die van de huidige Noordelijke IJszee zijn veel zeldzamer dan met ijs bedekte continenten. Zelfs drie

miljoen jaar geleden was de Noordelijke IJszee nog vrij van ijs. De 'permanente' noordelijke ijskap die voor ons zo gewoon is, verscheen mogelijk pas tussen de drie en vijf miljoen jaar geleden, toen de noordelijke continenten zich in een gunstige positie rondom de poolzee manoeuvreerden en daarmee de noordwaartse stroming van warm water afsneden. Het klimaatpatroon van de laatste paar miljoen jaar, met ijs op beide polen, is wellicht een uniek voorval in de aardgeschiedenis. De aarde verkeert daarom al zo'n drie miljoen jaar in bevroren toestand, een ijstijdperiode. Gedurende die ijstijdperiode hebben de gletsjers zich herhaaldelijk uitgebreid tijdens de ontwikkeling van de ware ijstijden en zich een beetje teruggetrokken tijdens warmere tussenperiodes, bekend als **interglacialen**. Deze cyclische klimaatvariëaties koppelt men aan regelmatige veranderingen in de geometrie van de baan van de aarde, die het evenwicht van de verwarming door de zon tussen de seizoenen verandert. Men kan zeggen dat elke ijstijd ongeveer honderdduizend jaar duurde en elk interglaciaal ongeveer vijftienduizend jaar. De interglaciale periode waarin wij leven, begon zo'n vijftienduizend jaar geleden.

Dit artikel is voor Natuur & Techniek vertaald door drs C. de Jong van het Artis Geologisch Museum te Amsterdam.

KIJK OP WETENSCHAP verschijnt onder redactie van Natuur & Techniek, in samenwerking met New Scientist. Voor het maken van kopieën is toestemming vereist van de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amsterdam, Tel. 0(0-31)20-5407496).



Baby,
kind en
puber
langs
de lat

Groei, van bevruchting tot volwassenheid, verloopt volgens vaste patronen. Wel is er een individuele variatie in tempo en eindresultaat. Wanneer de lengtegroei zo rond het achttiende levensjaar ten einde loopt, wordt de jong-volwassene geconfronteerd met de resultaten hiervan – het uiterlijk en de functionele mogelijkheden van zijn lichaam. Meestal zal hij of

den mee zijn, of moeten zijn. Bij sommigen is er duidelijk iets mis gegaan. Om te kunnen vaststellen of een stoornis in het groeitraject een eventueel tekort in lengte of ontwikkeling kan verklaren, moet men inzicht hebben in de regulatie van het hele proces, van het begin van het leven tot het eindpunt van de lengtetoeename. Op basis van die kennis kan de groei soms worden bevorderd.

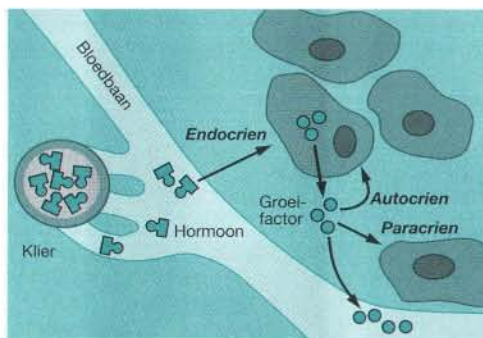


groei

Groeien is niet alleen dat een kind, een mens, groter wordt; hij wordt ook anders. Zo veranderen de lichaamsverhoudingen: de afzonderlijke lichaamsdelen worden niet allemaal evenveel groter. Bij de geboorte is het hoofd groot en zijn de armen en benen naar verhouding kort. De ledematen zullen dus harder groeien dan het hoofd. Maar ook de functies van de onderdelen zullen veranderen en zich aanpassen aan de levensfase. De mogelijkheden van het organisme als geheel worden gaandeweg steeds groter.

Groefactoren

Het hele proces van groei en ontwikkeling wordt gestuurd door de genen. Die erfelijke informatie bewerkstelligt dat een bevruchte eicel zich ontwikkelt tot een kind dat wordt geboren met alle organen en functies die



1

noodzakelijk zijn om te kunnen leven en tot een volwassene uit te groeien. Dezelfde informatie is ook verantwoordelijk voor de individuele kenmerken die heel opvallend door de ouders aan dat kind worden doorgegeven en aldus voor de variatie die je in mensen kunt herkennen. Zo zijn de uiteindelijke lengte die een individu zal bereiken, het moment waarop die wordt bereikt en de lichaamsverhoudingen grotendeels erfelijk bepaald.

Bij de uitvoering van het erfelijke programma spelen de *groefactoren* een belangrijke rol. De groefactoren vormen een grote groep van betrekkelijk kleine eiwitten. Vooral in de eerste levensweken regelen zij heel specifiek



2a

1. Wanneer vanuit een klier met interne afgifte hormonen in de bloedbaan komen, zet deze endocriene prikkel cel-

len in verderop gelegen weefsels aan tot de productie van een stof met een bepaalde functie. Dat kan een groei-

de groei van organen en weefsels. Groefactoren brengen cellen tot deling en daarbij vaak ook tot verandering van functie. Bij functie-wijziging gaat het ene celtype over in het andere, een proces dat bekendstaat als *differentiatie*. Daarnaast worden tot de groefactoren ook groeiremmende stoffen gerekend, alsmede stoffen die juist de functieverandering blokkeren.

Meestal maken cellen en/of weefsels hun eigen groefactoren aan. Die worden in de cel gevormd, komen van daaruit in de extra-cellulaire ruimte en oefenen vervolgens hun werking uit op de cel waar ze uitkomen (*autocrien*) of op nabij gelegen cellen van hetzelfde weefsel (*paracrien*) (afb. 1). Op het oppervlak van de cellen die gevoelig moeten zijn voor een groefactor, bijvoorbeeld een zenuwcel in ontwikkeling, bevinden zich speciale herkenningseiwitten, de groefactorreceptoren. Na binding van de groefactor brengt de receptor chemische signalen in de cel teweeg. Die zetten de cel volgens een nog onbekend mechanisme aan tot (remming van) vermeerdering en/of differentiatie.

Groei kan niet ongebreideld voortgaan. Normale cellen vertonen zogenaamde *contact-inhibitie*; ze houden op met delen zodra de dichtheid van cellen zo groot is dat ze intensief contact met elkaar maken. Ondanks de



2b

factor zijn. Cellen kunnen ook zichzelf (autocrien) of hun buurcellen in hetzelfde weefsel (paracrien) aanzetten tot een effect.

2. In de eerste vier maanden van de zwangerschap, de echobeelden tonen een foetus van 11, een van 14 en een van 17



2c

weken, vindt de orgaanaanleg plaats. Na die vier maanden is de foetus in grote lijnen 'compleet'. Nu komt de

voortgang van de groei voor rekening van de groeifactor IGF en de beschikbaarheid van voedingsstoffen.

aanwezigheid van groeifactoren kunnen cellen dan toch niet meer delen. Dit ingewikkelde proces van cel-celinteractie en beïnvloeding door groeistimulerende en groeiremmende factoren, vindt vooral plaats in het begin van het leven en is van groot belang tot en met de vierde maand van de zwangerschap, de periode van de orgaanaanleg.

Hormonen

Naast de groeifactoren spelen ook *hormonen* een rol in de groeiregulatie; na de geboorte spelen ze zelfs de hoofdrol. Hormonen worden geproduceerd in klieren en komen van daaruit in het bloed terecht. Via de bloedbaan kunnen ze op afstand hun functie uitoefenen. Het hormonale systeem neemt de *endocriene* regulatie voor zijn rekening. Het staat naast de eerder genoemde *paracriene* en *autocriene* regulatie.

Voor de regeling van de groei in engere zin, het bereiken van de eindlengte, is vooral het groeihormoon (*somatotropine*) van belang. Groeihormoon wordt afgescheiden door de hypofyse, een orgaan dat juist onder de hersenen ligt en er in nauw contact mee staat. Daarnaast spelen het schildklierhormoon (*thyroxine*) en de mannelijke en vrouwelijke geslachtshormonen, respectievelijk *testosteron*

en *oestrogenen*, een rol. Al deze hormonen zijn een voorwaarde voor normale groei; ontbreken ervan leidt tot stoornissen in de groei en/of de geslachtsontwikkeling.

In de kinderjaren is vooral het groeihormoon verantwoordelijk voor de lengtegroei. Geslachtshormonen versterken de groei in de puberteit gedurende een korte periode, de zogenaamde groeisput. Tegelijk versnellen ze de omvorming van kraakbeencellen in botcellen, zodat aan het einde van de puberteit alle kraakbeencellen zijn verbeend en er geen lengtegroei meer mogelijk is. De eindlengte is bereikt.

Met de reeks groeifactoren, groeihormoon, geslachtshormonen is in grote lijnen de regulatie van de groei beschreven. Maar hoe werken deze elementen in de verschillende stadia die een mens van kiem tot wasdom doorloopt?

Voor de geboorte

In de periode van de orgaanaanleg – de eerste vier maanden na de bevruchting – vindt de regulatie vooral plaats via de erfelijke sturing van de productie van de diverse groeifactoren en andere processen die noodzakelijk zijn voor celdeling en differentiatie. Juist in deze periode hebben stoornissen in de ontwikkeling grote gevolgen voor het kind.

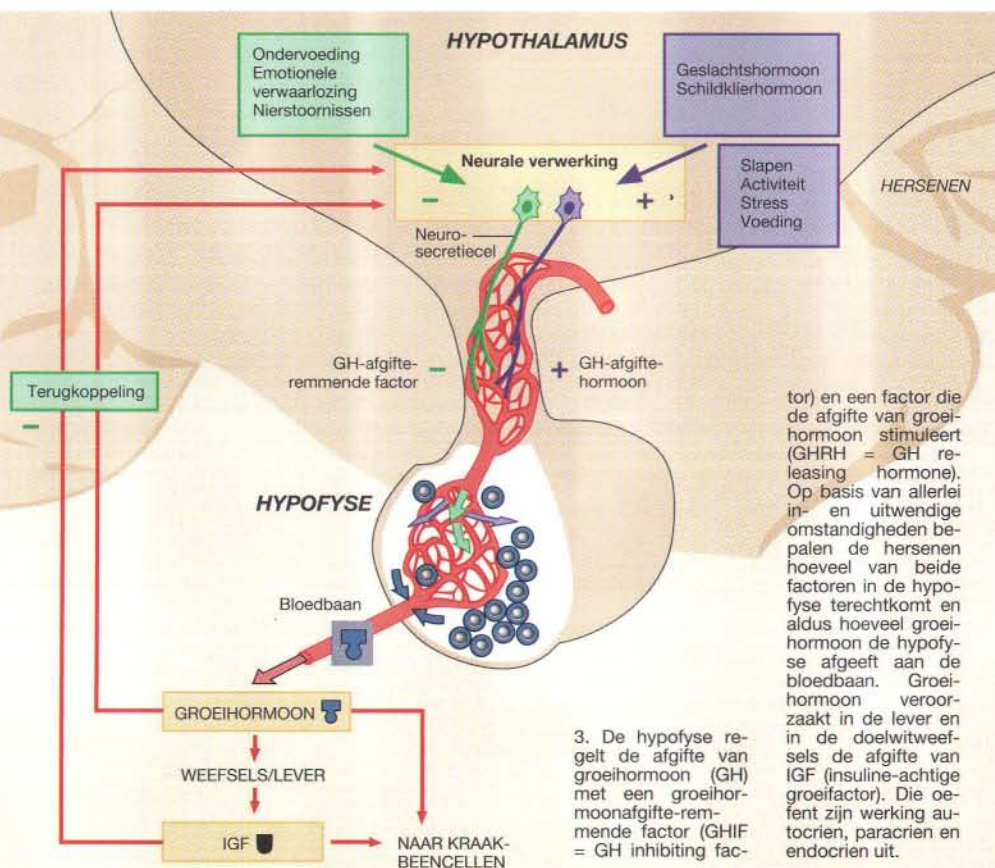
Na de vierde maand bepalen de groeifactoren in combinatie met de beschikbaarheid van voedingsstoffen de groei. Vooral de somatomedinen ofwel insuline-achtige groeifactoren (IGF's), en daarvan in elk geval IGF-I, zijn van belang. Bij de voedingsstoffen gaat het vooral om glucose, aminozuren en zuurstof.

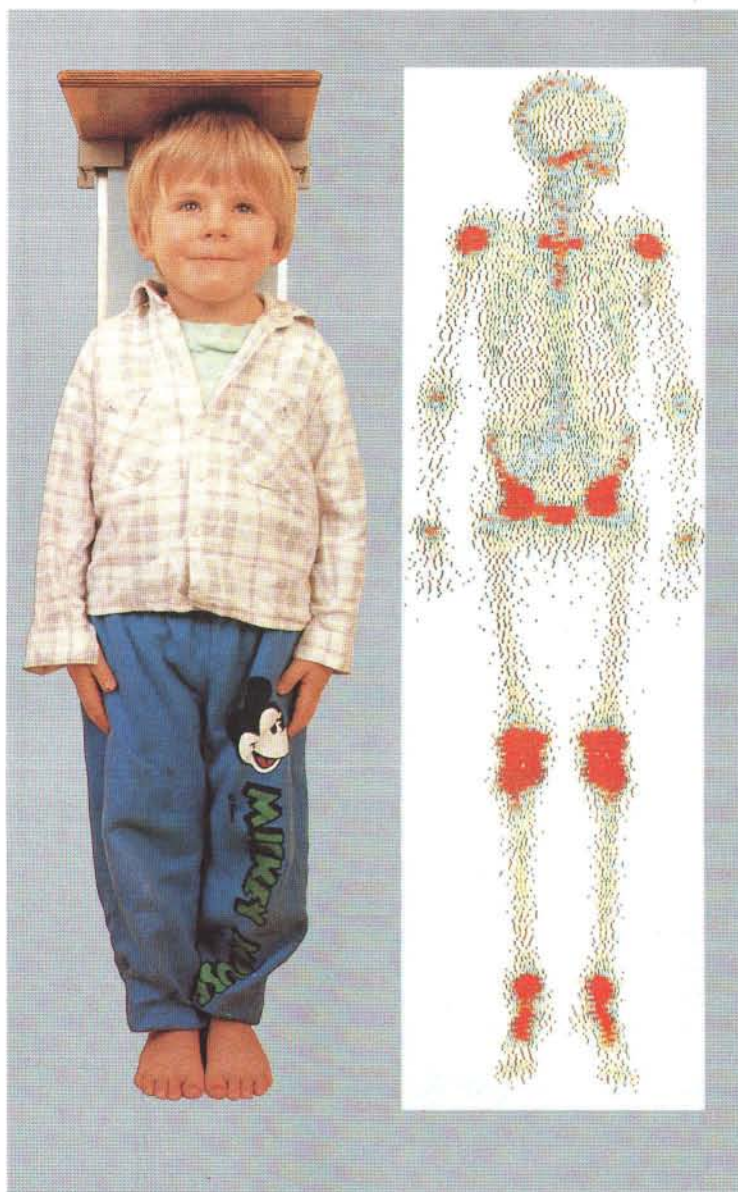
Een ongeboren kind kan veel harder groeien dan werkelijk gebeurt. De placenta is (gelukkig) de beperkende factor. De grootte van het oppervlak in de placenta waar glucose, aminozuren en zuurstof van moeder naar kind kunnen overgaan, bepaalt de groeisnelheid van het kind in de laatste maanden van de zwangerschap. Afwijkingen in de placenta die de toevoer van voedingsstoffen beperken, leiden dan ook tot groeivertraging en aldus tot kinderen die bij de geboorte te licht en soms ook te klein zijn voor de zwangerschapsduur.

Deze *dysmature* kinderen vragen direct na de geboorte extra zorg. Goede behandeling, met name wat betreft voeding, leidt tot een flinke inhaalgroei in de eerste levensmaanden. Toch bereiken deze kinderen vaak niet de lengte van normale leeftijdgenoten. Ze groeien wel even hard, maar ze zijn en blijven kleiner, althans tot aan de puberteit.

Er zijn aanwijzingen dat bij de voedingsstoffenoverdracht in de placenta, ook IGF-I betrokken is. Mogelijk stimuleert deze groeifactor de overdracht wanneer het voedselaanbod voor de moeder schaars is. Dit verklaart misschien het feit dat bij een ondervoede moeder de groei van de foetus nauwelijks achterblijft.

Het is opvallend, dat vóór de geboorte hormonen nauwelijks of geen rol spelen bij de groei, met uitzondering van insuline. Toch produceert een foetus zowel schildklierhor-

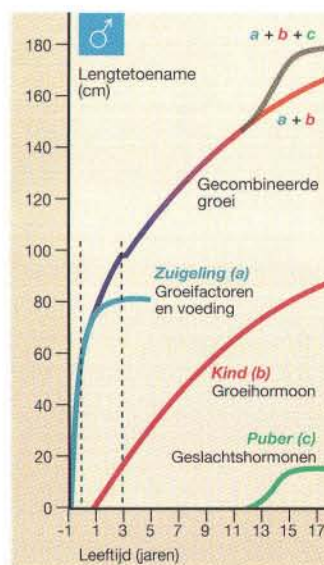




4

4. Aan dit kinderskelet herkennen we de actieve groeizones aan hun oranje kleur. Vooral aan lange botten is goed te zien dat ze niet overal, maar alleen aan de uiteinden groeien. Dit heeft tot gevolg dat de ledematen meer groeien dan de rest van het lichaam.

5. De lengte van een kind is de som van verschillende groeiregulaties. Een baby groeit zoals voor de geboorte. Bovenop de aldus bereikte lengte komt de groei die wordt geregeld door het groeihormoon. Die neemt geleidelijk af. In de puberteit veroorzaken de geslachtshormonen nog een groeiversnelling, waarna de eindlengte wordt bereikt.



5

moon als groeihormoon; ze zullen dus wel van betekenis zijn. Het mannelijk hormoon testosteron, dat een mannelijke foetus al in de eerste levensmaanden aanmaakt, is absoluut noodzakelijk voor het uitgroeien van de geslachtsorganen in mannelijke richting. Het ontbreken van een van de hormonen heeft nauwelijks invloed op de lengte bij de geboorte.

De kinderjaren

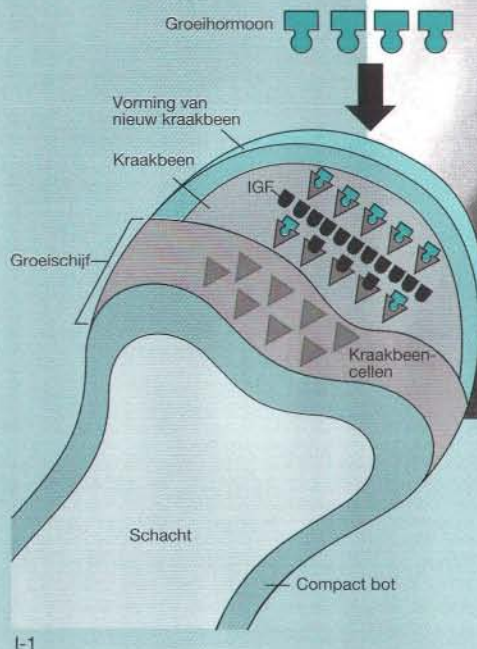
Het zogenaamde *infant-child-puberty*-concept is het idee, dat in zuigelingenperiode, peuter-, kleuter-, schoolkindfase en puberteit in hoofdzaak verschillende mechanismen de groei regelen (afb. 5). Wanneer een of meer van die centrale mechanismen wegvallen, raakt de

Lengtegroei

Lengtegroei vindt voornamelijk plaats in de lange pijpbeenderen. Aan de uiteinden van de lange pijpbeenderen bevindt zich een zone met kraakbeen, de zogenaamde groeischijf. In deze groeischijven liggen de cellen die zich nog kunnen delen, daar is dus de groei mogelijk. Aan weerskanten van deze groeischijf veranderen kraakbeencellen in botcellen die zich niet meer kunnen delen. In het midden van de schijf vindt echter voortdurend celvermeerdering plaats. Voor dit proces van deling en dus groei is naast het schildklierhormoon vooral groeihormoon nodig. Groeihormoon werkt niet direct, maar via een groeifactor, *somatomedine*, ook wel insuline-achtige groeifactor genoemd. Dit laatste werd afgekort tot IGF. Er zijn inmiddels twee somatomedinen onderscheiden, IGF-I en IGF-II.

De somatomedinen spelen een belangrijke rol bij de celdeling in de groeischijven. Groeihormoon bereikt via het bloed de groeischijven en daar de primitieve kraakbeencellen, de chondrocyten. Bij contact met groeihormoon gaan deze chondrocyten IGF-I maken, terwijl tegelijkertijd op het celoppervlak IGF-I-recep-

toren ontstaan. Die zetten de cel onder invloed van IGF-I aan tot deling (groei) en vervolgens tot verandering van kraakbeencel in botcel. Binnen de groeischijf werkt het IGF-I dus op de kraakbeencellen zelf, autocrien en paracrien.



groei verstoord. Kennis van de regelmechanismen is noodzakelijk om eventuele groeistoornissen te kunnen begrijpen.

Bij een zuigeling is de regeling van de groei een voortzetting van de situatie voor de geboorte. De groei wordt dus grotendeels bepaald door de beschikbare hoeveelheid voedingsstoffen. De placenta is niet langer de beperkende factor voor de groei. Wanneer het kind na de geboorte voldoende voedingsstoffen kan opnemen, kan het zelfs korte tijd harder groeien dan daarvoor. Al snel neemt de groeisnelheid echter geleidelijk af. Wanneer er geen andere factor mee zou gaan spelen, zou

het kind na het derde levensjaar nog maar zeer langzaam groeien.

Vanaf de zesde levensmaand tot aan de puberteit, is het groeihormoon de voornaamste regulator van de groei. Het hormoon werkt via IGF-I op de groeischijven (Intermezzo), waar de lengtegroei plaatsvindt. In de groeicurves van kinderen die vaak en zorgvuldig worden gemeten, komt op de leeftijd van zes tot negen maanden soms een kleine knik voor. Die markeert het moment waarop het groeihormoon de groei overneemt.

In deze hele periode groeit het kind regelmatig in het voor hem vastgestelde patroon.

INTERMEZZO



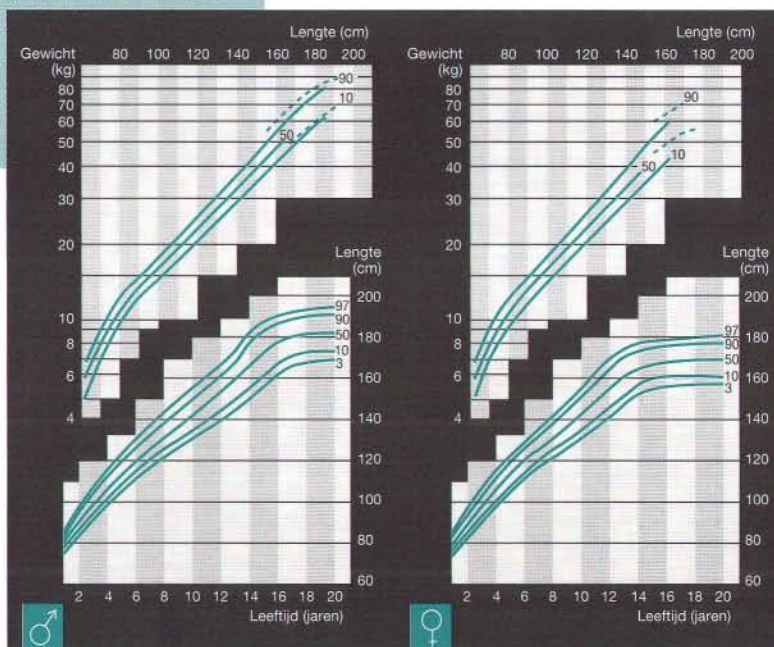
I-1 en I-2. IGF dat ter plaatse ontstaat onder invloed van groeihormoon in het bloed, zet kraakbeencellen in de groeischijf aan tot deling en verbening. Zo groeien lange beenderen. Op de röntgenfoto van de kop van het dijbeen in het heupgewricht van een twaalfjarig kind is de schijf duidelijk herkenbaar te midden van het veel compactere bot.

I-2

We spreken wel van het groeikanaal, een percentiel van de normale populatie (afb. 6). Niet alle kinderen groeien even hard, sommigen groeien bijvoorbeeld langs de 10-percentiel. Dat wil zeggen dat ze groeien volgens een curve waar nog tien procent van de kinderen onder blijft; die groeien dus nog langzamer. Anderen groeien harder, bijvoorbeeld langs de 90-percentiel, wat wil zeggen dat slechts tien procent van de kinderen nog harder groeit.

De uiteindelijke lengte die een kind bij ongestoorde groei zal bereiken, is grotendeels erfelijk bepaald. De lengte van de ouders kan hiervoor een graadmeter zijn. De uiteindelijke lengte is afhankelijk van de groeisnelheid in de kleuter- en schoolperiode, en van het moment waarop de puberteit intreedt. In de puberteit gaat namelijk de laatste fase van de groei in. Toch is het niet zo dat kinderen die vroeg in de puberteit komen kleiner zullen zijn dan diegenen die laat in de puberteit komen. Meestal is bij kinderen die vroeg in de puberteit komen de groeisnelheid in kleuter- en schooljaren gemiddeld groter dan die van hun leeftijdgenoten, zodat ze bij het begin van hun vroege puberteit al groter zijn. Ook is dan de lengtetoeename tijdens de groeisprint groter

6. In de groeidigrammen voor jongens en meisjes van 1 tot 21 jaar geven de cijfers naast de krommen de percentielpositie aan. Voor de onderste kromme van jongens betekent een lengte op lijn 3 dat 3% van de even oude jongens korter is; bij 10 is 10% korter enzovoort. Voor de bovenste kromme (gewicht naar lengte) gelden de doorgetrokken lijnen tot de pubertijd. Daarna gelden de onderbroken lijnen.



6

7. Het lengteverschil tussen mannen en vrouwen ontstaat door aanvangsleeftijd en intensiteit van de groeispurt in de puberteit.

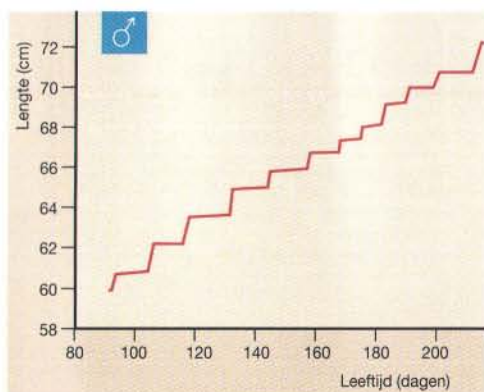
8. Op grond van de wetenschappelijke analyse van dagelijkse lengtemetingen bij baby's kwam een Amerikaanse onderzoeksgroep onlangs tot de conclusie dat die stapsgewijs groeien. Na een periode van 2 tot 28 dagen stilstand groeiden de onderzochte kinderen telkens 0,5 tot 1,65 centimeter binnen 24 uur. De grafiek toont de groei van een jongetje. Overigens zullen deze interessante aanwijzingen zeker nog moeten worden bevestigd door andere onderzoekers voor we mogen aannemen dat de groei inderdaad zo verloopt.

9. Voor ontwerpers van alledaagse gebruiksvoorwerpen is groei maar lastig. Om bijvoorbeeld een teddybeer veilig te maken, moeten ze weten hoe hard een kind aan de ogen kan draaien en trekken. Als ze weten hoe dik een pink is, weten ze ook waartussen die bekneld kan raken. De faculteit Industrieel Ontwerpen van TU Delft brengt momenteel de lichaamsmaten en lichamelijke vaardigheden van de Nederlandse jeugd in kaart.

10. Kinderen met een tekort aan groeihormoon kunnen baat hebben bij een dagelijkse aanvulling.



7



8

dan bij hen die laat aan hun versterkte groei beginnen.

Het infant-child-puberty-concept laat zien dat, net als in de periode kort na de geboorte, rond de leeftijd van 12 à 14 jaar de groei gaat vertragen als de puberteit niet intreedt. De groeibevorderende werking van de door de hypofyse afgescheiden hoeveelheid groeihormoon gaat tekortschieten. Vooral bij jongens die (heel) laat in de puberteit komen is dit fenomeen duidelijk. Terwijl hun leeftijdgenoten aan de groeispurt bezig zijn, gaan zij steeds langzamer groeien, wat tot grote frustraties kan leiden.

Puberteit

De puberteit is de fase waarin het individu lichamelijk volwassen wordt en de psychologische rijpheid bereikt om in de maatschappij zijn eigen plaats in te nemen. Kenmerkend voor deze fase is dat de hypofyse hormonen gaat afgeven die de geslachtsklieren stimuleren. Deze stoffen noemen we *gonadotrofinen*. De geslachtsklieren zullen daarop geslachtshormonen produceren, terwijl bij meisjes de eerste geslachtscellen rijpen en bij jongens de productie ervan op gang komt.



9

De hypofyse is het orgaan dat het hele hormoonstelsel stuurt. Zij bedient zich daartoe van hormonen die de hormoonklieren elders in het lichaam stimuleren of remmen. De hypofyse geeft haar sturende hormonen veelal niet continu af, maar periodiek; telkens in een korte tijd een bepaalde hoeveelheid. Er is dus een pulspatroon. In de puberteit vinden nu juist veranderingen in dit pulspatroon plaats, die hun weerslag hebben op de groei.

Groeihormoon komt, bij kinderen en volwassenen, in vier tot zes pulsen per dag in het bloed terecht. De grootste puls, met de meeste hormoonafgifte, verschijnt aan het begin van

de nacht, kort na het inslapen, andere komen later in de nacht en nog een paar kleine gedurende de dag. In de puberteit stijgt de hoeveelheid per puls. Daarmee neemt de totaal afgescheiden hoeveelheid groeihormoon toe. Parallel hiermee stijgt ook de somatomedine-spiegel in het bloed. Na de puberteit, bij meisjes na de eerste menstruatie, neemt de afgifte van groeihormoon weer af. Ook volwassenen produceren groeihormoon; het speelt een rol in de algemene stofwisseling.

Ook de gonadotrofinen komen pulsgewijs in het bloed. Voor een van de belangrijkste gona-



10

dotrofinen, LH (het luteïniserend hormoon), geldt dat in de puberteit zowel de frequentie van de pulsen als de hoeveelheid per puls toenemen tot een vast patroon. Bij volwassen mannen is dat één puls per anderhalf à twee uur, bij vrouwen, afhankelijk van de hormoonstatus in de menstruatiecyclus, één puls per uur tot één per vier uur.

De toename van de hoeveelheid groeihormoon – en daarmee van somatomedine – en de productie van geslachtshormonen als gevolg van de stimulatie van de geslachtsklieren door gonadotrofinen, leiden samen tot een versterkte lengtegroei, de groeisprint. De ge-

slachtshormonen hebben echter ook een sterk effect op de omvorming van kraakbeen in bot. Daardoor stopt op een gegeven moment de lengtegroei.

Bij het begin van de volwassenheid zien we een duidelijk verschil in de gemiddelde lengte van mannen en vrouwen. In Nederland bedraagt het nu ongeveer veertien centimeter. Het is het resultaat van drie processen. Tot aan de puberteit groeien jongens en meisjes ongeveer gelijk. Dan komt de puberteitsspurten, die bij jongens gemiddeld twee jaar later begint dan bij meisjes. Zij groeien dus twee jaar langer door met een prepuberale groeisnelheid van circa vijf centimeter per jaar, dit is ongeveer tien centimeter. Vervolgens is de intensiteit van de groeisput bij jongens doorgaans

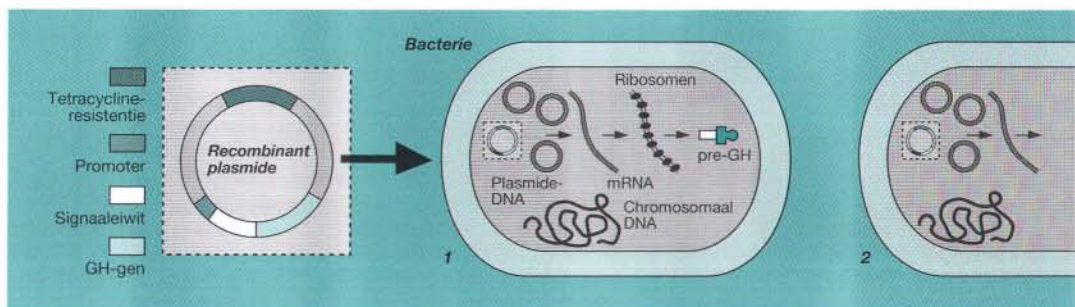
en verzorging. Wanneer in de kinderjaren een gebrek aan groeihormoon de aanwijsbare oorzaak van een groeiachterstand is, is toediening van het hormoon vaak succesvol. Groeihormoon is soortspecifiek, dat wil zeggen bij de mens werkt alleen menselijk groeihormoon. Tot 1985 kon het alleen worden verkregen uit hypofyse materiaal van overledenen. Het is duidelijk dat dit schaars was. De taak om het beschikbare groeihormoon zo objectief en zo economisch mogelijk te verdelen, kwam in handen van de Nederlandse Groeistichting. Daarin stelde een groep deskundigen bij overeenstemming vast wie voor behandeling in aanmerking kwam. Deze besluitvorming is een schoolvoorbeeld van hoe bij de onontkoombare beperking van middelen, de toewij-

11. Biotechnologen brachten het gen voor groeihormoon met enkele andere genen via een plasmide (een ringvormig stukje DNA) in een darm-

bacterie. Na vermenigvuldiging in een fermentor maken miljarden bacteriën GH aan. Het signaleiwit zorgt ervoor dat ze het hormoon juist onder

de buitenste celwand opslaan. Na afbraak van de celwand kan het GH vrij eenvoudig uit de omringende oplossing worden gewonnen.

12. Het linker van deze zusjes heeft een groeihormoon tekort. Hoewel ze anderhalf jaar ouder is dan haar zus is ze bijna twintig centimeter kleiner.



11

groter, dit betekent vijf centimeter extra. Bij jongens tenslotte eindigt de groeisput meestal abrupt. Meisjes groeien vaak wat langer door en halen daarmee één tot drie centimeter in.

Behandeling met groeihormoon

Als er ergens in het groeitraject een duidelijke stoornis wordt vastgesteld, ligt het voor de hand die zo mogelijk te behandelen. We hebben al gezien dat te klein geboren baby's vaak baat hebben bij extra aandacht voor voeding

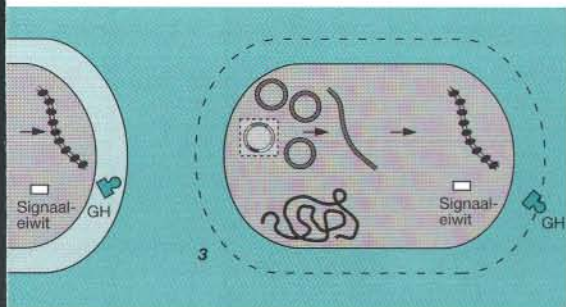
zing toch zo eerlijk mogelijk kan geschieden.

Inmiddels is groeihormoon, via de recombinant-DNA-techniek, in onbeperkte hoeveelheden beschikbaar gekomen. De behandeling is echter erg duur. En er is dus een nieuw probleem, een probleem van overvloed en hoge kosten. Nu komt de vraag op welk kind het meeste baat heeft bij een behandeling met groeihormoon en of de te bereiken lengtewinst de kosten verantwoordt.

Heel concreet is het probleem of een eindlengte die aan de onderkant van de variatie zal



12



uitkomen zich positief laat beïnvloeden. Feit is dat verder niet afwijkende kinderen zich jarenlang dagelijks met groeihormoon moeten injecteren. Op de vraag of te langzaam groeiende kinderen met groeihormoon een grotere eindlengte kunnen bereiken, kan nog geen antwoord worden gegeven. De vraag wat het voor iemand betekent om (te) klein te zijn, is ook niet eenvoudig te beantwoorden. Het is echter maar al te goed bekend, dat dit voor betrokkenen een belangrijke stoornis in hun persoonlijkheidsontwikkeling kan betekenen.

Een team van specialisten onderzoekt momenteel voor welke groep kinderen groeihormoon positief kan werken. Bij de beslissing of die kinderen het hormoon ook daadwerkelijk krijgen, zullen de kosten en de baten, ook in psychologische winst, zorgvuldig tegen elkaar moeten worden afgewogen.

Steeds langere kinderen

Een opmerkelijk fenomeen is de toename van de lengte van de jong-volwassenen in de afgelopen 150 jaar. In 1955 was de gemiddelde lengte van de Nederlandse jongen van negentien jaar 175,5 centimeter, van het meisje 163,5. In 1980 was de lengte van de gemiddelde jonge man 182 centimeter en van de vrouw 168 centimeter. Die jonge mannen en vrouwen waren dus respectievelijk 6,5 en 4,5 centimeter langer dan hun ouders.

Dit proces van toenemende eindlengte, dat gepaard gaat met een vroeger begin van de puberteit, staat bekend als *seculaire trend* of *eeuw-trend*. De trend is begonnen in het midden van de vorige eeuw en lijkt nog niet tot stilstand te zijn gekomen. Men neemt aan dat de verbetering van de voeding – vooral in zuigelingen- en kleuterperiode – en het verdwijnen van frequente min of meer ernstige ziekteperiodes in de kinderjaren, de oorzaak zijn van dit proces. Daarmee is de trend een indicator voor de gezondheidstoestand van de bevolking en mogen we stellen dat algemeen gesproken de gezondheidstoestand van de Nederlandse kinderen heel goed is.

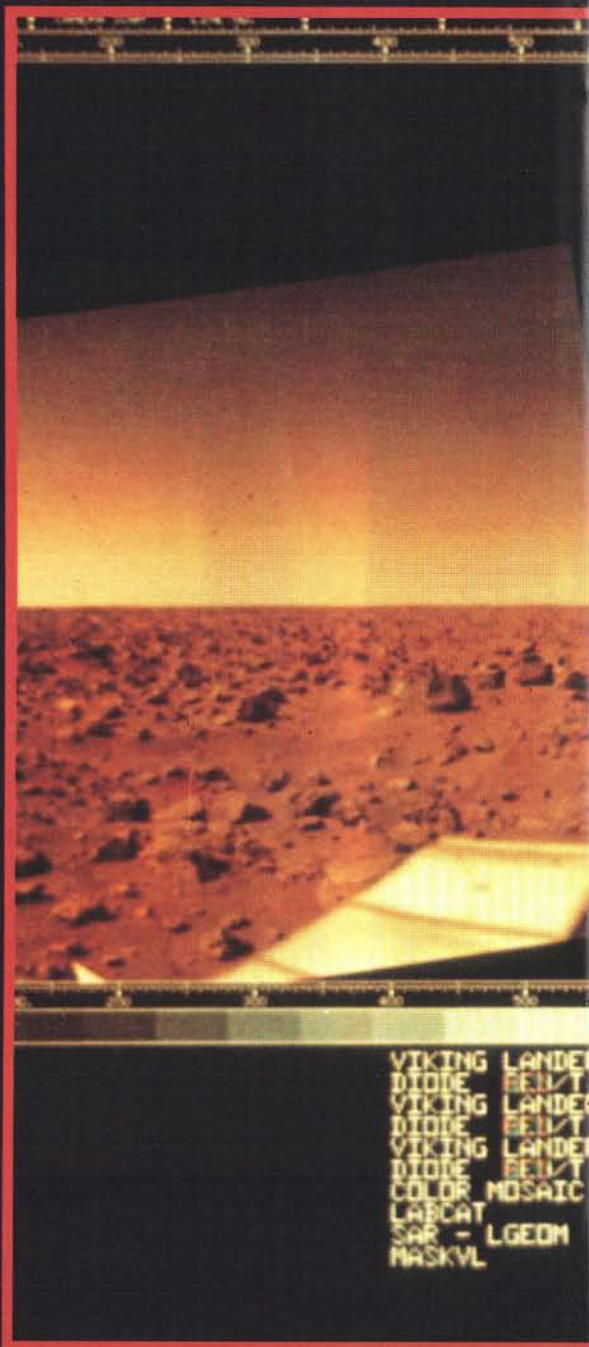
Bronvermelding illustraties

Hollandse Hoogte, Amsterdam: pag. 816-817 (Piet den Blanken) en 7 (Klaas Koppe)
Pie Medical Equipment BV, Maastricht: 2
Kabi Pharmacia BV, Woerden: 4 (jongetje), 10 en 12
Gruppo Editoriale, Fabbri-Bompiani: 4 (skelet)
Jan Lindberg, Stockholm: 1-2
Philip Broos/Technische Universiteit Delft: 9

BESCHERMDE

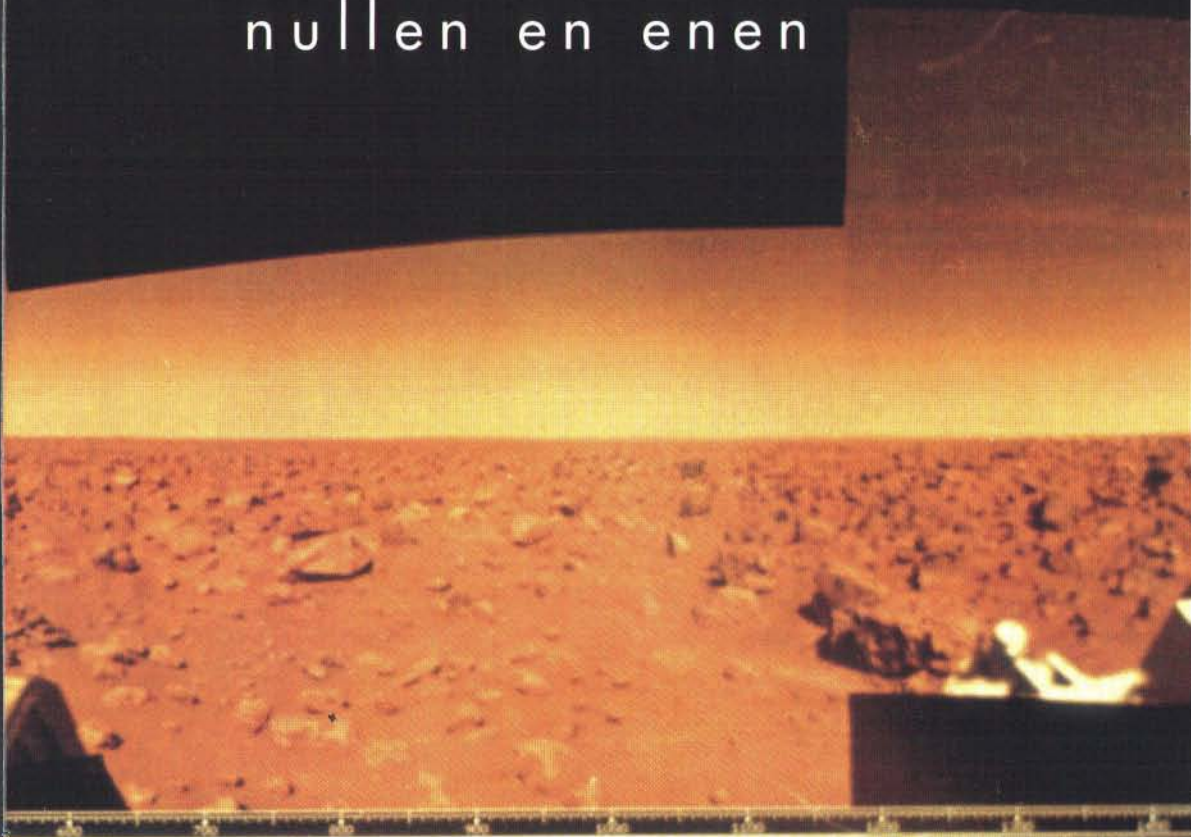
Iedereen die wel eens naar televisiespelletjes als Lingo of Twee voor Twaalf heeft gekeken, weet dat je van een onbekend woord of stuk tekst niet alle letters hoeft te kennen om toch dat woord of stuk tekst te achterhalen. Taalkundige experimenten leren ons, dat hierbij gemiddeld zelfs twee van de drie letters mogen worden weggelaten. Dit principe is aardig voor een gezelschapsspel of een TV-quiz, maar de wiskundige basis daarvan vinden we ook terug bij het overseinen van satellietfoto's en het afspelen van een CD.

De Viking-landers maakten opnamen vanaf het Marsoppervlak. De boordcomputer zorgde ervoor dat deze opnamen digitaal gecodeerd naar de aarde werden verstuurd. In totaal hebben de Viking-orbiters en -landers meer dan 56 000 kleuren- en zwart-witfoto's gemaakt. Voor kleurenfoto's was driemaal zoveel informatie nodig. Ze waren namelijk samengesteld uit drie zwart-witfoto's die met verschillende kleurenfilters waren opgenomen.



BERICHTEN

Verpakt in
nullen en enen



2 CAMERA 2 CE LABEL 22A003/000
STEP SIZE 0.12 CHANNEL/MODE 1/1
2 CAMERA 2 CE LABEL 22A016/002
STEP SIZE 0.12 CHANNEL/MODE 1/1
2 CAMERA 2 CE LABEL 22A018/002
STEP SIZE 0.12 CHANNEL/MODE 1/1
OF RADCAN OUTPUT SPEC MIN 0. MAX 4.5 *

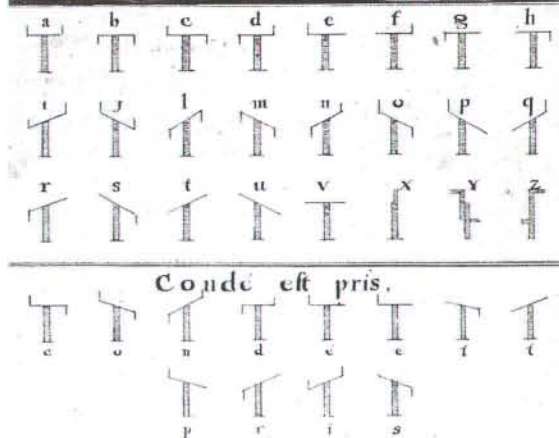
SEGMENT 1 OF 1

IPL PIC ID 76/09/14/125922 HDB/L1473BX
IN IMAGE PROCESSING LABORATORY

Een boodschap komt niet altijd goed over. Maar zelfs als een boodschap niet compleet overkomt, kan hij toch goed worden begrepen. Doordat men in normale gesprekken hele woorden uitspreekt, kan bijvoorbeeld een toehoorder die niet elke lettergreep heeft verstaan (bijvoorbeeld door achtergrondlawaai of een slechte telefoonverbinding) toch vaak de hele boodschap of tekst begrijpen.

In de digitale elektrotechniek past men bovendaand principe toe om informatie te beschermen tegen ruis en allerlei andere verstoringen. Dat gebeurt op een zeer gestructureerde en wiskundig geavanceerde manier. Een gebied waarin men al lang intensief gebruik maakt van foutenverbeterende technieken is de telecommunicatie.

Een ruimtesonde die planeten in ons zonnestelsel bezoekt, zet de resultaten van metingen of de pixels in gemaakte foto's eerst om in rijen nullen en enen. Bij zo'n foto is de afbeelding verdeeld in kleine vakjes of pixels, die elk een kleur of grijswaarde hebben. Een pixel is een visuele informatie-eenheid. Samen geven de pixels een afbeelding. Vervolgens stuurt de satelliet de rij nullen en enen, die we de 'boodschap' zullen noemen, naar de aarde.



1. In de populaire TV-quiz Twee voor Twaalf moeten deelnemers woorden van twaalf letters zien te vinden. Sommige kandidaten hebben maar enkele letters nodig om te achterhalen welk woord is gevraagd.



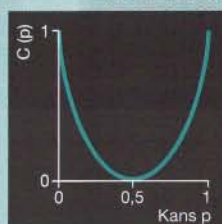
1

Betrouwbaar en efficiënt

Claude Shannon heeft in feite een zeer precieze uitspraak gedaan over hoe betrouwbaar en efficiënt rijtjes bits kunnen worden verstuurd, als elke bit met kans p verkeerd overkomt.

Zijn bewering is, dat je een willekeurige hoge graad van juist ontcijferen kunt bewerkstelligen door aan een steeds langer groepje informatiebits (zeg k) een steeds langer groepje extra bits toe te voegen (zeg r). Daarbij stelt hij een aantal randvoorwaarden. Zo moeten k en r wel in dezelfde verhouding groeien. De verhouding $k/k+r$ moet bovendien constant blijven en strikt kleiner zijn dan een getal $C(p)$ dat op de volgende manier van p afhangt: $C(p) = 1 + p(2 \log p) + (1-p)(2 \log (1-p))$ voor $0 < p < 1$ en $C(0)=C(1)=1$.

Als de verhouding $k/(k+r)$ groter dan $C(p)$ is, wordt juist de kans op



I-1

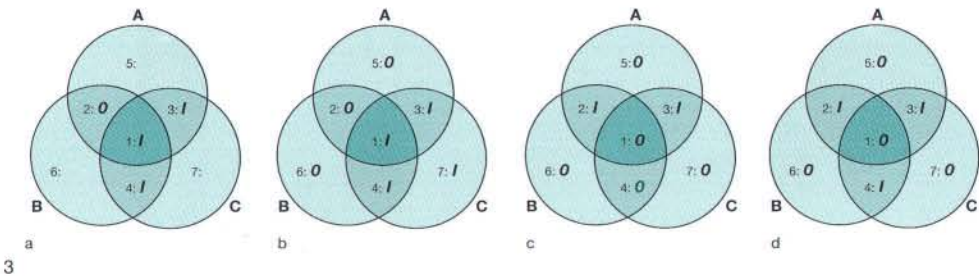
I-1. De capaciteit van een verzendkanaal hangt sterk samen met de kans op fouten. Een foutenkans van 0,50 maakt de verzending nutteloos.

Door ruis van allerlei soort, bijvoorbeeld atmosferische ruis of thermische ruis, zal de ontvanger soms een 0 registreren, terwijl de satelliet in feite een 1 had verzonden, of andersom. We mogen veronderstellen dat de kans op zo'n foute conclusie klein is en zeker minder dan 50%.

Individuele pixels

Een voor de hand liggende oplossing om die ruis het hoofd te bieden, is nu om elk symbool twee keer uit te zenden. Jammer genoeg werkt dit idee slechts ten dele. Als een 01-combinatie wordt ontvangen, is er duidelijk een verstoring

opgetreden tussen verzending en ontvangst. Het is echter niet mogelijk om vast te stellen of het oorspronkelijke signaal nu 00 was (voor de 0-boodschap) of 11 (voor de 1-boodschap). Ieder symbool nog een keer extra herhalen biedt wel een oplossing. Als het rijtje 010 wordt ontvangen, is het veel waarschijnlijker dat 000 verstuurd was dan 111. Zo kan dus één fout worden verbeterd. Om twee fouten in een rijtje nullen of enen te kunnen verbeteren, moet elk symbool vijf keer worden uitgezonden enzovoort. Uit de meerderheid van de ontvangen bits (een bit is een van de binaire getallen 0 of 1) leidt de ontvanger af of de zender een 0 of een 1 wilde versturen.



2. Bij de optische telegrafie gaf de stand van de armen aan een paal een letter aan. Bij slecht weer kwam een bericht niet altijd feilloos over. Door de structuur van taal was de juiste boodschap vaak nog wel te achterhalen.

3. Vier te verzenden bits (a) codeert men hier met drie bits zodat de som van de vier getallen in elk van de drie cirkels even is (b). Als een code fout overkomt (c), is de originele boodschap te achterhalen (d).

INTERMEZZO I

fout decoderen willekeurig groot. Het is om deze reden, dat we $C(p)$ de capaciteit van het verzendkanaal noemen.

Zoals te verwachten was, volgt uit Shannon's bewering, dat je geen informatie kunt sturen als $p=1/2$ (de capaciteit is nu 0). Het andere uiterste is de perfecte betrouwbaarheid, namelijk als p nul is. Er worden nu geen fouten gemaakt, er hoeven geen extra bits aan een boodschap te worden toegevoegd (neem $r=0$) en de capaciteit is $k/(k+0)=1$.

De functie $C(p)$ is symmetrisch rond $p=1/2$. Deze symmetrie heeft een zeer praktische achtergrond. Als de foutenkans p meer dan een half is, bijvoorbeeld $9/10$, dan kun je als ontvanger beter elke ontvangen 0 in een 1 veranderen en andersom. Op die manier heb je de foutenkans veranderd in $1-p$ (dus $1/10$ in dit voorbeeld). Met zijn afleiding heeft Shannon precies aangegeven hoeveel en hoe betrouwbaar boodschappen kunnen worden verstuurd als er ruis is.

Het grote nadeel van bovenstaande methode is dat het verzenden van elke bit in een boodschap zo lang duurt. De zender moet steeds 3, 5 of nog meer bits versturen om een enkele bit betrouwbaar over te krijgen. Gelukkig bedacht de Amerikaan Claude Shannon tijdens de Tweede Wereldoorlog een andere manier om te versturen gegevens efficiënt te beschermen: wacht steeds een aantal symbolen uit de boodschap af en voeg er dan een vast aantal aan toe op zo'n manier dat je fouten kunt verbeteren. Deze techniek noemen we *coding*. De ontvanger moet wel weten hoe hij eventuele fouten uit een ontvangen bericht kan halen en hoe

hij de originele boodschap moet reconstrueren. Dit proces noemen we *decoding*. We laten bovenstaand idee aan de hand van een voorbeeld zien.

In afbeelding 3a staan de cirkels A, B en C getekend. In de gebieden waar de drie cirkels elkaar overlappen, zetten we vier bits die we willen versturen (op de plaatsen 1 tot en met 4, dus 1011). Aan dit hele groepje van vier bits gaan we drie extra bits toevoegen zodat de ontvanger straks in staat is om één willekeurige fout te verbeteren.

De drie bits die we gaan toevoegen – op plaatsen 5, 6 en 7 – worden bepaald door de drie cirkels A, B en C en de regel 'in elke cirkel moet een *even* aantal nullen staan'. Deze coderingsregel geeft aanleiding tot het rechterplaatje in de afbeelding. We gaan dus het rijtje 1011001 versturen.

Waarom kan op deze manier altijd één fout verbeterd worden? Bekijk maar eens het ontvangen rijtje 0110000. We plaatsen deze bits op de juiste plaatsen in de cirkels (afb. 3c). Het is duidelijk dat de coderingsregel opgaat voor cirkel A, maar niet voor cirkels B of C. Waar staat nu de foute bit? Ook dat is eenvoudig af te leiden: er is namelijk maar een plaats die niet in cirkel A ligt, maar wel in cirkels B en C en dat is positie 4. Als we die verander-

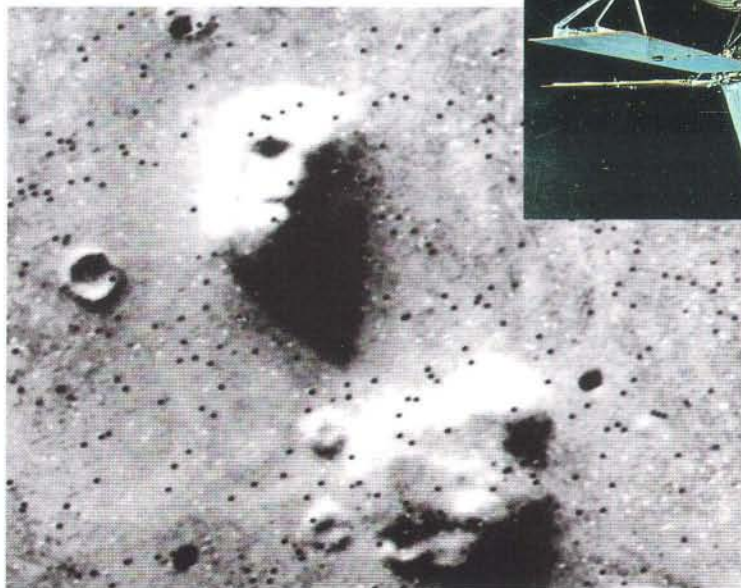
Eén-foutverbetering

Als de *drie-cirkelscode* wiskundig wordt beschreven, kun je daaruit afleiden hoe er nog meer van dat soort één-fout-verbeterende codes kunnen worden gemaakt. Richard Hamming vond dergelijke codes al in de jaren veertig uit.

Bij de wiskundige beschrijving van de genoemde code, is het nodig om alle benodigde berekeningen modulo 2 uit te voeren. Deze techniek noemt men ook wel klokrekenen. Het komt er op neer dat alleen met de getallen 0 en 1 wordt gewerkt. Andere gehele getallen worden 0 als ze even zijn en 1 als ze oneven zijn. Zo is bijvoorbeeld $1+1=0$.

Als de bits op plaatsen 1, 2, ..., 7 in de drie cirkels met $c_1, c_2, \dots, c_7$ worden aangegeven, kunnen we de drie cirkelvergelijkingen schrijven als:

$$\begin{array}{llll} \text{A: } c_1 + c_2 + c_3 + & c_5 & = 0 \\ \text{B: } c_1 + c_2 + & c_4 + & c_6 & = 0 \\ \text{C: } c_1 + & c_3 + c_4 + & c_7 & = 0 \end{array}$$



4



5

4 en 5. Van 1976 tot 1980 verstuurden de Viking-ruimtevaartuigen (5) opnamen van het Marsoppervlak. Sommige afbeeldingen kwamen niet ongeschonden op aarde aan, zodat een aantal pixels onjuiste informatie bevat (4).

INTERMEZZO II

De coëfficiëntenmatrix van deze vergelijkingen ziet er als volgt uit:

```
1110100
1101010
1011001
```

De kolommen vormen de binaire schrijfwijze van de getallen 1 tot en met 2^3-1 . Hoe decodeer je nu een ontvangen woord, zeg 1001010? Invullen in de drie vergelijkingen boven, levert niet drie nullen maar

```
1
1
0
```

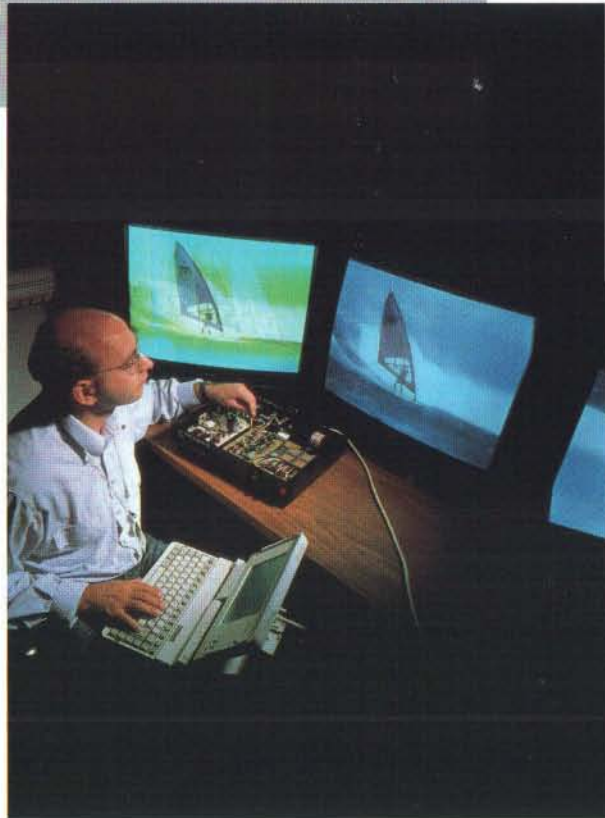
Dit is precies de tweede kolom van de coëfficiëntenmatrix, dus de tweede coördinaat is fout en de originele boodschap is derhalve 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0. Om nu een één-fout-verbeterende code te maken die vier beschermingsbits heeft, een totale lengte van 2^4-1 heeft en dus 11 informatiebits beschermt tegen één fout, moet simpelweg een matrix van 4 bij 15

coëfficiënten worden gemaakt, waarvan de kolommen de binaire schrijfwijze van de getallen 1 tot en met 2^4-1 zijn. Dit kan ook met 5 en 2^5-1 enzovoort. De verhouding informatiebits tot extra bits wordt bij deze rij codes steeds gunstiger.

In elk ontvangen rijtje moet hooguit één bit worden veranderd om het foutloos te maken. Als alle vergelijkingen namelijk nul opleveren, was het ontvangen rijtje al foutloos. Is dat niet zo, dan vormen de antwoorden een kolom uit de coëfficiëntenmatrix. We krijgen vervolgens een foutloos rijtje als we de bijbehorende coördinaat in het ontvangen woord veranderen.

ren, krijgen we de ingevulde cirkels zoals die zijn weergegeven in afbeelding 3d. We zien dan dat de boodschap 0111 was verstuurd. Als één van de drie toegevoegde bits fout is, kan dat ook met de coderingsregel eveneens worden opgelost. Maar als er twee fouten optreden in het rijtje van zeven nullen en enen, dan is de oorspronkelijke informatie niet meer af te leiden. Wil een lange boodschap goed doorkomen, dan mag hooguit 14% van de bits fout zijn.

In het voorbeeld hierboven hebben we aan elke vier bits uit de boodschap drie extra bits toegevoegd om een eventuele foute boodschap te kunnen herstellen. Er zijn toepassingen geweest waar deze verhouding nog veel slechter was. De allereerste *Mariners*, die in de jaren zestig naar de planeet Mars werden gestuurd, gebruikten voor het digitaliseren van zwart-witfoto's zes bits per pixel. Ze voegden daar nog eens 26 extra bits aan toe om – met een bijbehorende coderingsregel – eventuele fouten te kunnen verbeteren. De technici van de NASA konden zelfs zeven fouten per 32 bits nog verbeteren – bijna 22%. Het vermogen van de huidige satellietzenders is nog steeds zeer zwak, ongeveer 50 watt. De elektronische



6

6. Bij de verzending van HDTV-televisiebeelden speelt foutcodering een belangrijke rol. Een digitale signaalprocessor ge-

bruikt een algoritme om het vervelende echosignaal te ontdekken en een digitaal filter te programmeren.

7. De Silex-telescoop is een onderdeel van een optische zend- en ontvangsteenheid. Diodela-

sers zullen vele data digitaal verzenden tussen de SPOT-4-satelliet en een geostationaire satelliet.



7

apparatuur in de ruimtevaart, waaronder versterkers en dergelijke, is tegenwoordig echter zoveel betrouwbaarder, dat de gebruikte codes gemiddeld slechts een extra bit aan elke informatiebit toevoegen.

Een andere, zeer belangrijke toepassing van foutenverbeterende technieken, is de opslag van gegevens op magnetische en optische media, zoals computerbanden, floppy's, harde schijven en compact-discs. Fouten bij het uitlezen treden daarbij meestal op vanwege onzuiverheden in het gebruikte materiaal of door het achteruitgaan van de kwaliteit van de magnetische laag. De kans op fouten is daarbij veel kleiner dan bij de ruimtevaarttoepassingen, waar ruis het informatiesignaal kan verstoren. Je hebt hier dus codes nodig waarbij maar weinig extra bits aan elk boodschappenrijtje worden toegevoegd. Van de andere kant komen fouten vaak in groepjes voor: een paar bit achter elkaar kunnen niet worden uitgelezen of zijn zelfs fout. We zullen eens nagaan welk type codes voor dit probleem een oplossing bieden.

Gecodeerde geluiden

Het menselijk gehoor is in staat om geluiden met een frequentie tot circa 20 000 Hz waar te nemen. Voor een natuurlijk geluid is het daarom prettig als een geluidsdrager ook de infor-

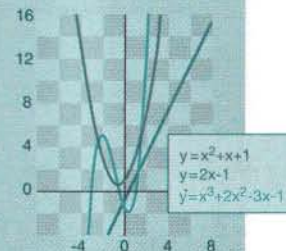
De Reed-Solomoncodering

In de tekst is uitgelegd dat we twee getallen tegen een of meer fouten kunnen beschermen door middel van extra punten op de lijn $y=ax+b$ die door die twee punten gaat. Om nu drie getallen te beschermen, zeg 1, 3, 7, bepalen we de parabool door (0,1), (1,3) en (2,7). Dat blijkt $y=x^2+x+1$ te leveren. De volgende twee

punten op deze parabool zijn (3,13) en (4,21). We verzenden dus 1, 3, 7, 13, 21. Met één fout zullen de andere vier punten nog steeds op de originele parabool liggen en kan de fout hersteld worden. Om twee fouten te kunnen verbeteren, moeten weer vier extra punten op de parabool worden genomen en zovoort.

Om vier getallen te beschermen moeten we ze leggen op een derdegraads functie, zoals $y=x^3+2x^2-x+1$. Per te verbeteren fout moeten opnieuw twee extra punten worden aangebracht. De codes die op de CD worden gebruikt en die steeds 24 of 28 getallen moeten coderen, maken gebruik van respectievelijk 23e- en 27e-grads-

functies. Deze klasse van codes is in 1960 ontdekt door de Amerikanen Irving Reed en Gus Solomon.



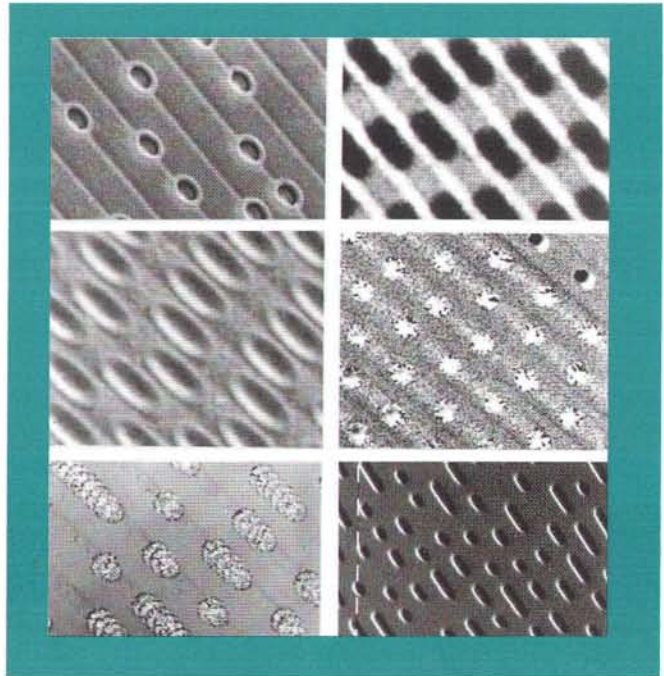
INTERMEZZO III

8. De kop van de DCC kan zowel twee sporen met analoge als acht sporen met digitale informatie weer-geven. Door foutcodering en -deco-dering van digitale gegevens, ont-staan zuivere geluidsopnamen.

9. Naast de CD (f) zijn er ook andere schijven die digitale informatie be-waren, zoals de Write Once, Read Many- of WORM-platen, die be-staan uit een telluurlegering (a), or-ganische kleurstoffen (b) of amorf-kristallijn materiaal (c). Nog handiger zijn de wisbare schijven, die magne-to-optisch (d) of met amorf-kristal-lijn materiaal (e) werken.



8



9

matie voor trillingen tot 20000 Hz kan bewa- ren en doorgeven. Om geluid op een CD digi- taal weer te geven, wordt het geluidssignaal ongeveer 44100 keer per seconde geanaly- seerd. Hierna kan elke in het signaal voorko- mende geluidstrilling met een frequentie tot aan 22050 Hz nog steeds exact worden weer- gegeven. Het spreekt vanzelf dat de meting niet in zijn volle nauwkeurigheid op de CD kan worden vastgelegd. Voor elke meetwaar- de worden 32 bits gebruikt (16 voor het lin- kerkanaal en 16 voor het rechter). De giganti- sche hoeveelheid bits op de CD moet ook nog worden beschermd tegen mogelijke fouten.

De eerste stap bij de bescherming van de geluidsinformatie, is om de stroom bits op te delen in groepjes van acht bits. Elke groepje van acht bits wordt nu opgevat als één sym-bool uit een nieuw en veel groter alfabet, na- melijk een alfabet van de grootte $2^8=256$. Voor het gemak zullen we dat symbool be- schouwen als een gewoon reëel getal. In plaats van 00001100 schrijven we dus het getal 12.

Hoe kunnen we deze stroom getallen be- schermen tegen fouten? Laten we beginnen met twee getallen, zeg 3 en 5, te coderen op

zo'n manier, dat we één fout altijd kunnen herstellen. Daartoe maken we van de getallen 3 en 5 punten door bij het eerste getal een 0 te schrijven en bij het tweede getal een 1; in dit geval krijgen we dus de punten (0,3) en (1,5). Door deze twee punten trekken we een lijn (zie de linkertekening in afbeelding 11). Ver- volgens bepalen we de 'volgende' twee pun- ten op deze lijn, (2,7) en (3,9), en we verzenden tenslotte het rijtje: 3, 5, 7, 9.

Als nu een van de vier verzonden cijfers fout aankomt, zullen van de hierboven ge- geven vier punten er nog steeds drie op de oor- spronkelijke lijn liggen. Het is dan meteen duidelijk welk ontvangen getal fout was en wat het zou moeten zijn.

Als aan de twee te verzenden getallen 3 en 5 slechts één extra getal was toegevoegd, dus 7 en niet 9, kan geen enkele fout worden verbe- terd, zoals blijkt in afbeelding 11b, waarin het het rijtje 3, 2, 7 is ontvangen.

Als de twee getallen 3 en 5 tegen twee mo- gelijke fouten moeten worden beschermd, leg- gen we vier extra punten op de lijn (steeds twee extra punten per extra te beschermen getal) en verzenden we dus zes getallen. In af-

beelding 11 is rechts het ontvangen zestal -2, 4, 2, 4, -2, 8 afgebeeld. In dit rijtje is sprake van twee fouten, die we dankzij de uitgebreide codering kunnen herstellen.

Als we maar drie getallen hadden toegevoegd aan de oorspronkelijke twee, kunnen niet altijd twee fouten worden verbeterd. Zo kan het ontvangen rijtje 1, 3, 5, 3, 1 oorspronkelijk zijn verstuurd als 1, 3, 5, 7, 9, maar ook als 9, 7, 5, 3, 1.

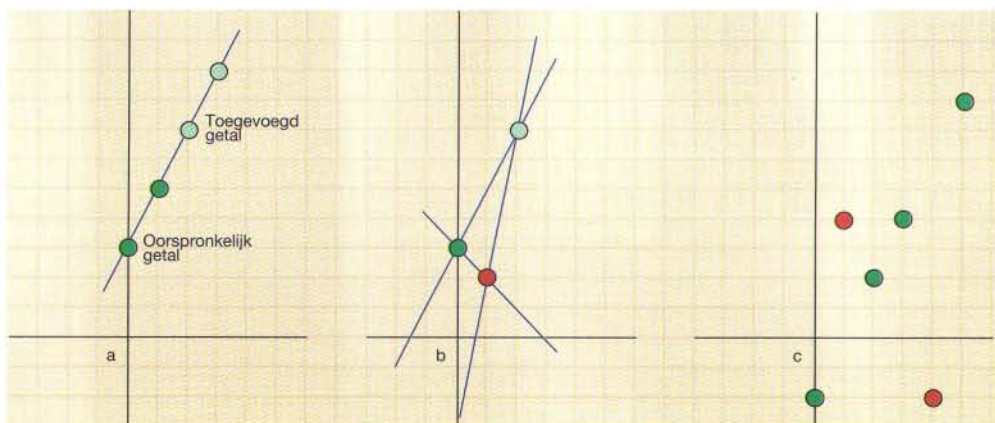
We kunnen ons natuurlijk afvragen, of een ander groepje van vier punten niet een andere

10. Door 32-voudige overbemonstering kan een chip met een analoog-digitaalomzetter een zeer precies videosignaal produceren. De lay-out laat zien hoe ingewikkeld de chip is. Een foutcodering moet zorgen dat het signaal zonder fouten een digitaal-analoogomzetter bereikt.

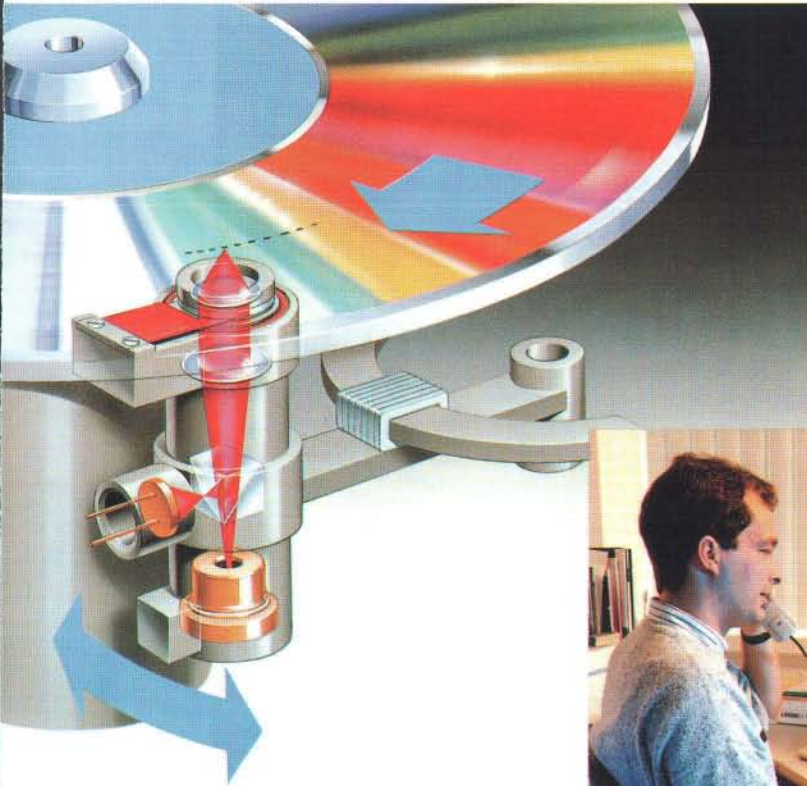


12

11. Als we twee getallen versturen met een lijncode, beschermen we ze met twee getallen tegen één fout en met vier getallen tegen twee fouten.



11

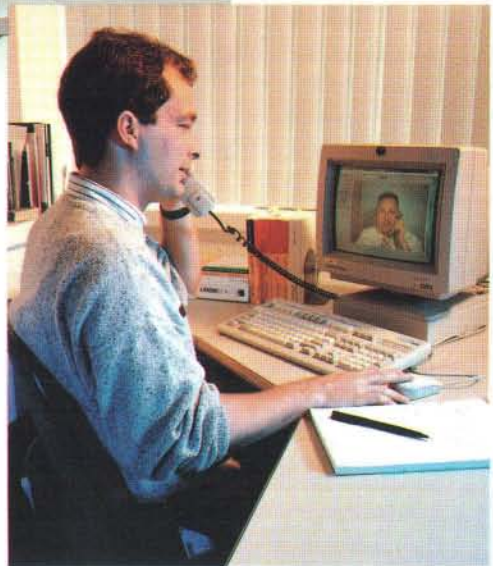


12. De CD-speler geeft per seconde per kanaal netto 44 100 getallen van 16 bits weer. Op de disk zijn die bits nog voorzien van een Reed-Solomon-codering.

13. Een ISDN-verbinding kan 64 kbit per seconde verwerken. Een nieuw ontwikkelde transformatiecodering moet ervoor zorgen dat geluid van CD-kwaliteit per telefoon kan worden verzonden. Ook bij het foutloos verzenden van beeldinformatie zullen coderingstechnieken een belangrijke rol spelen.

lijn kan opleveren. Gelukkig moet ook dit nieuwe groepje tenminste twee correcte punten bevatten en zal het dus dezelfde lijn opleveren.

Een CD-speler gebruikt twee codes van dit type bij het verwerken van de informatie op de CD-schijf. Daarbij is geen sprake van een rechte lijn, maar van meer ingewikkelde functies (zie Intermezzo III). De ene codering voegt aan 28 getallen vier extra getallen toe en kan dus twee fouten verbeteren. De andere voegt aan elke 24 getallen vier extra toe. Zo'n verbeterd getal op een CD kwam eigenlijk, zoals we al eerder zagen, van een rijtje van acht bits. Een groepje van negen opeenvolgende foutieve bits beïnvloedt daardoor hooguit twee opeenvolgende groepjes van acht bits en er kunnen daardoor niet meer dan twee opeenvolgende getallen van de code veranderen. Maar dankzij de codering is het mogelijk om deze twee foutieve getallen te verbeteren, dus ook de oorspronkelijke negen foutieve bits!



13

Literatuur

Tilborg HCA van. Coding theory, a first course. Lund: Chartwell Bratt Studentlitteratur, 1993.
Tilborg HCA van. An Introduction to Cryptology. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.

Bronvermelding illustraties

Jet Propulsion Laboratory/NASA, Pasadena Cal., VS: pag. 828-829, 4, 5.
PTT, Den Haag: 2.
Philips Research, Eindhoven: 6, 8, 9, 10, 12.
Carl Zeiss, Oberkochen, D: 7.
Dr Neherlaboratorium/PTT, Leidschendam: 13.

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

SIMON ROZENDAAL

DE PREHISTORIE ONDER DE MICROSCOOP

Prof dr Willy Groenman - van Waateringe onderzoekt oeroud stuifmeel en leer

Prof dr Willy Groenman-van Waateringe is hoogleraar in de ecologische prehistorie aan de Universiteit van Amsterdam. Ze is een van 's werelds meest vooraanstaande specialisten op het gebied van prehistorisch stuifmeel en van prehistorisch schoeisel.

Toch moest ze als studente aanvankelijk weinig van archeologie hebben. "Ik dacht daarbij altijd aan Romeinse vazen en op de een of andere manier stond dat me tegen. Waarschijnlijk omdat ik moeite met Latijn en Grieks had gehad."

Ze studeerde biologie en deed als bijvak pollenanalyse. Dat was haar toegangsbewijs tot de prehistorie. Pollen, stuifmeel, heeft immers een nogal stevige buitenwand die onder juiste omstandigheden de tand des tijds kan weerstaan en kan fossiliseren. Stuifmeel kan dan ook worden gebruikt om geologische lagen te helpen dateren. Andersom kan men van bepaalde tijdvakken uit het verleden met behulp van gefossiliseerd stuifmeel bepalen welke planten en bomen toen aanwezig waren. In 1956 zag de studente voor het eerst een opgraving - in West-Friesland. Dat was an-

ders dan ze zich had voorgesteld. Bij deze opgraving waren er niet alleen geen Romeinse vazen, maar ook ging het er exacter, minder rommelig aan toe dan ze had verwacht. "Ik zag dat je archeologie ook op een serieuze, niet-zweverige, wijze kon bedrijven."

Ze was verkocht en kwam in de palyno-archeologie te

recht, het bedrijven van oudheidkundig onderzoek met behulp van stuifmeelkorrels. Na haar studie biologie ging ze archeologie studeren en pollen onderzoeken. Pollen uit het veen en uit grafheuvels. Dat laatste is min of meer een Nederlands specialisme.

De Nederlandse grafheuvels zijn arm aan giften en daar-

Prof dr Willy Groenman-van Waateringe in haar werk-kamer.
(Foto: Guido van Dooremaalen, Hollandse Hoogte, Amsterdam)



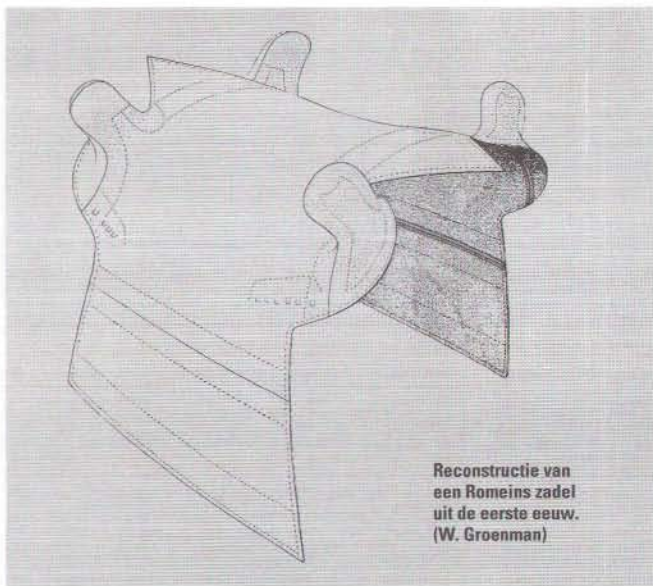
door heeft de archeoloog minder handvaten om de grafheuvels te dateren. Inder tijd is Waterbolk op instigatie van Van Giffen (twee grote namen uit de Nederlandse archeologie) begonnen met het analyseren van pollenmonsters onder grafheuvels. Dat lukte goed, het bleek inderdaad mogelijk om met stuifmeel de ouderdom van de Nederlandse grafheuvels te bepalen. Inmiddels heeft de datering, dankzij de opkomst van de radioactieve-koolstofmethode, niet zo'n hoge prioriteit meer. De pollenanalyse wordt nu gebruikt om de grafheuvels beter in hun toenmalige omgeving te plaatsen: stonden ze op een open plek, was er akkerbouw in de buurt?

Pollen kan veel over het verleden vertellen. In de eerste plaats leert de verhouding tussen bomen en planten hoe open een bepaald gebied was. Aan de hand van het pollen valt bijvoorbeeld te zien dat

Nederland na de laatste ijstijd sterk was bebost, maar dat gaandeweg het gebied steeds opener is geworden – waarschijnlijk ten gevolge van het ontbossen door de prehistorische landbouwers.

Het pollen getuigt ook van de aanwezigheid van landbouw en veeteelt. Bepaalde granen kunnen zijn gekweekt (of alleen ingevoerd) en sommige onkruiden zoals weegbree en zuring en ook de aanwezigheid van grassen wijzen op veeteelt: ze verdragen betreding door koeien.

raakt. "Ook aan minder goed pollen, waar anderen niet helemaal uitkomen, kan ik nog het een en ander aflezen." De ervaring bij de grafheuvels heeft daar een steentje toe bijgedragen. "Stuifmeel uit veen is goed geconserveerd, maar uit grafheuvels is het vaak verkreukeld en aangetast." Amusant detail is dat ze het analyseren vooral thuis doet, vaak in de avonden. "Op de universiteit word je tegenwoordig als hoogleraar zo in beslag genomen door andere activiteiten, dat je moeilijk



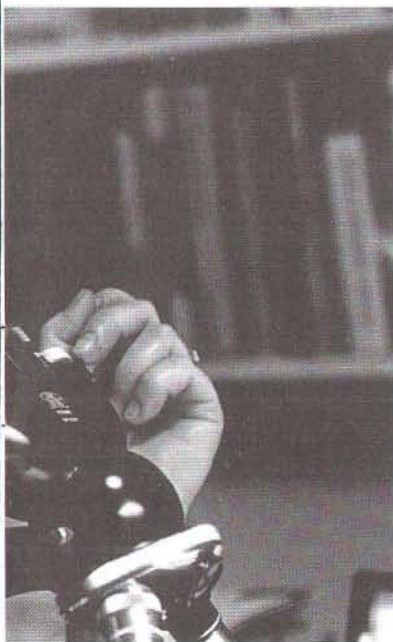
Reconstructie van een Romeins zadel uit de eerste eeuw. (W. Groenman)

Ook het buitenland begint overigens steeds meer belangstelling voor pollenanalyse van grafheuvels te krijgen. "Stuifmeelanalyse van veen gebeurt overal in de wereld, maar stuifmeelanalyse van grafheuvels is typisch Nederlands, ontwikkeld bij gebrek aan beter, dat nu door andere landen wordt overgenomen." Ze analyseert inmiddels al ruim dertig jaar stuifmeel en is daar nogal bedreven in ge-

aan onderzoek toekomt. Dat doe ik dus rustig thuis, in mijn vrije uren." Midden in haar werkamer vol boeken (onder andere een originele driedelige *Natuurkunde van 't vrije veld* van Minnaert) staat dan ook een microscoop.

Oude schoenen

In de jaren zestig kwam Willy Groenman in het leer terecht. Ze assisteerde bij de



opgravingen in Valkenburg, bij Leiden. Op een gegeven moment kwam er een stuk Romeins leer te voorschijn. Niemand wist wat daarmee moest worden aangevangen en ze nam het mee naar huis. "Ik maakte het schoon en raakte enthousiast."

Ze kreeg veel meer leer uit Valkenburg. Van het een kwam het ander. Na een paar weken kwam bij opgravingen in de Nes in Amsterdam middeleeuws schoeisel boven de grond en langzaam maar zeker werd ze de Nederlandse specialist in oud leer. Ze slaagde erin om op basis van de vondsten in Valkenburg voor het eerst in de geschiedenis een complete Romeinse tent en zadel te reconstrueren en schreef daar haar dissertatie over.

Bij het determineren let ze eerst op de leersoort – van welk dier de huid afkomstig is. Vervolgens kijkt ze naar de naaitechniek: hoe een naad is gemaakt en wat voor naad is gebruikt. "Bij tentleer hoort



De schoen (van herteleder) werd vergeleken met andere oude schoenen, uit Nederland en Noordwest-Duitsland, deels door haarzelf onderzocht. De alleroudste schoenen hadden nog geen hielnaad, de jongere schoenen

Het gletsjerlijk

Eind 1991 werd op de grens van Oostenrijk en Italië (tweeënnegentig meter op Italiaans grondgebied – een niet-onbelangrijk detail) een door het ijs geconserveerde mummie ontdekt die circa 5000 jaar oud was. De man, zo weten we nu, droeg een sneeuwpak van bont, 'leggings' en schoenen.

De mummie werd overgebracht naar de universiteit van Innsbruck in Oostenrijk en daar in eerste instantie bestudeerd en gedateerd. Een jaar later is een tweede opgraving uitgevoerd en werden nog andere vondsten, onder andere delen van de bontkleding, gedaan. Omdat inmiddels duidelijk was geworden dat de man op Italiaans grondgebied lag en ook dat de vondst van groot historisch belang was, bevinden die tweede vondsten zich nog in Italië. Misschien ook wel omdat het museum dat de vondsten mag exposeren op vele tienduizenden betalende bezoekers per jaar kan reke-

"Er is in de archeologie te weinig belangstelling voor de moderne natuurwetenschap."

bijvoorbeeld een heel karakteristieke naad."

Bij tal van onderzoeken in binnen- en buitenland raakte ze betrokken. Toen dr. Wijnand van der Sanden van het Provinciaal Museum in Assen bijvoorbeeld besloot om de Nederlandse veenlijken aan een modern wetenschappelijk onderzoek te onderwerpen, stuurde hij het leer- en bontmateriaal naar haar. Het betrof hier een leren schoen en een cape en muts van bont, alle drie aangetroffen op een in 1938 bij Emmer-Erfscheidenvveen gevonden veenlijk.

wel. Bij de oudste schoenen hadden de rijggaten een uniforme vorm, bij de jongere waren de rijggaten van de hielnaad kleiner. Ook de muts (van schapeleer, met de staart er nog aan, als een soort kwastje) en de cape (kalfsleer) werden vergeleken met in de literatuur beschreven kledingstukken. Ze reconstrueerde de kleding en dateerde die, met hulp ook van stuifmeelanalyse van veenresten uit de schoen en de cape, op de tweede helft van de bronstijd – ongeveer drieduizend jaar geleden.



In de bontkleding van de Similaunman trof professor Groenman een pollenkorrel van de primitieve graansoort een-koorn aan. In haar werktekening van de capefragmenten van de man geven de pijlen de haarrichting van de vacht aan. (foto's: SNS-Presebild, Innsbruck en W. Groenman)

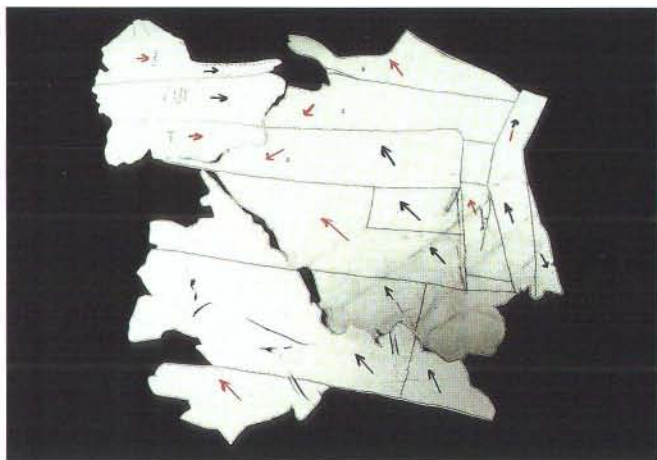
nen. De verspreiding over twee landen werpt echter heel wat bureaucratische barrières op voor de oudheidkundige onderzoekers die de vondst willen bestuderen.

Een van die onderzoekers is prof dr Groenman-van Waateringe. In eerste instantie heeft ze tekeningen van het schoeisel en de kleding van het gletsjerlijk mogen maken – omdat een belangrijk deel nog niet door de Italianen is vrijgegeven. Dat is echter onvoldoende en ze wacht al ruim een jaar vol ongeduld op het echte materiaal.

In de tussentijd is ze ook pollenonderzoek aan het lijk gaan verrichten. Ze heeft een monster gras plus een plukje

uit de bonthuid gevallen haar meegekregen. Tot haar eigen verbazing zat het haar 'stikvol' pollen. Heel opmerkelijk was, dat ze een onderscheid vond tussen het pollen uit de huid van het dier, toen het nog levend door het bos liep, en pollen uit de huid toen die als kleding om de 'Similaunman' (het lijk werd bij de *Similaunhütte* gevonden) heen hing.

Het oudste pollen is aangestast, waarschijnlijk door de preparatie van de huid. Op zichzelf is dat opmerkelijk. Looien gebeurde meestal met plantenzuren. Pollen reageert daar niet op. Daarom vermoedt de Amsterdamse hoogleraar dat de huid is geprepa-



reerd door een combinatie van roken en invetten. Ze hoopt dit te bevestigen door op het Instituut voor Proto-en Prehistorie in Amsterdam (in samenwerking met Archeon, het archeologisch the-mapark in aanbouw in Alphen aan de Rijn) de prehistorische bewerking na te bootsen en vervolgens te kijken hoe de pollenkorrels in een diere huid zich dan houden.

De meest recente pollenkorrels komen volgens haar uit een opener gebied: de verhouding tussen kruiden en

bomen geeft dat aan. Ook is er een primitieve graansoort te zien. Waarschijnlijk woonde de man dus in een soort nederzetting waar landbouw werd bedreven.

Aan het pollen valt voor de kenner veel te zien. Andere onderzoekers namen aan dat de man uit Zuid-Tirol (nu in Italië gelegen) kwam. Groenman: "Misschien is dat wel waar, maar voor mij staat vast dat de Similaunman en het edelhert dat de bontkleiding leverde, in de centrale Oostenrijkse Alpen hebben geleefd." In het haar van het dier trof ze vooral pollen van de fijnspar en de els aan in een karakteristieke verhouding voor dat gebied toentertijd, terwijl onder andere de zilverspar waarschijnlijk

Voortrekkersrol

De studie van de prehistorie en van de daarmee samenhangende evolutie van de mens maakt de komende jaren een spannende periode door. Er komen de laatste jaren tal van nieuwe technieken waarmee op een heel andere manier naar het verre verleden kan worden gekeken. Vooral de biotechnologie en de genetica zijn in dit verband van belang.

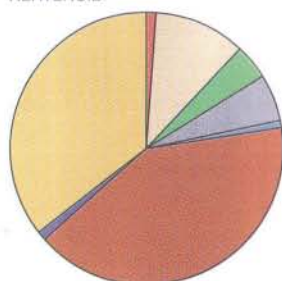
Zo is er al een interessante discussie ontstaan naar aanleiding van de analyses van DNA uit mitochondriën – kleine onderdelen uit lichaamscellen. De stamboom die aldus werd opgesteld, kwam niet helemaal overeen met de gangbare opvattingen.

met behulp van de pcr geen DNA worden gevonden. Als het mogelijk zou worden om in botten nog DNA te vinden, dan is er opeens de mogelijkheid om de verwantschap tussen prehistorische mensen en de huidige mensen te bepalen. Misschien zou het zelfs wel mogelijk worden om brandende vragen als de positie van de Neanderthaler (was dat een voorloper van de huidige mens of een uitgestorven tak?) te beantwoorden.

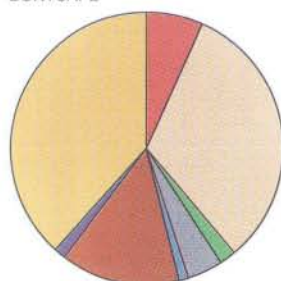
Groenman-van Waateringe verheugt zich op komende doorbraken en mogelijke nieuwe inzichten. Wel vraagt ze zich enigszins bezorgd af of de archeologie genoeg gebruikmaakt van de moderne mogelijkheden. "Analysen met de pcr zijn niet alleen verdomde moeilijk om uit te voeren – je hebt o zo gauw verontreinigingen te pakken – maar het is ook heel duur. Bovendien heeft de archeologie, zeker in Nederland, de boot gemist met het oppikken van nieuwe fysisch-chemische analytische technieken." Een voorbeeld van hoe het ook kan, is Engeland. "Dat land heeft altijd een voortrekkersrol gespeeld in dit soort archeologie." In Engeland is er een speciaal fysisch-chemisch laboratorium ten dienste van de archeologie. Nieuwe methoden zijn bijna allemaal door Engelse archeologen uitgebroed of het eerst toegepast.

"Door de invloed van Van Giffen en Waterbolk is de Nederlandse archeologie sterk biologisch en te weinig fysisch-chemisch gericht. Er is te weinig belangstelling voor de moderne natuurwetenschap, terwijl de meest spectaculaire ontwikkelingen in de archeologie daar vandaan komen."

HERTEHUID



BONTCAPE



■ Spar ■ Den ■ Kruiden ■ Eik ■ Berk ■ Beuk ■ Els ■ Zilverspar

Pollenkorrels in de hertebontcape van de Similaunman geven informatie over de verblijfplaats van de man en van het hert dat het bont leverde.

was geweest voor Zuid-Tirol. Ze is trots op de vondsten van pollen in dierenhaar. "Ik dacht dat ik de eerste onderzoeker ter wereld was die zoiets had gevonden. Jammer genoeg was dat niet zo." Later bleek een Franse onderzoeker immers al een vergelijkbaar onderzoek te hebben gedaan.

Van groot belang kan wellicht de pcr-techniek worden. Met deze techniek is het mogelijk om minuscule hoeveelheden DNA aan te tonen. In sommige mummies is bijvoorbeeld al DNA aangetoond. Voorwaarde is wel dat die mummies goed geconserveerd zijn geweest – in de Nederlandse veenlijken kon

EEN

Foutje

IN DE STOFWISSELING

In oktober 1993 viert de Gaucher Vereniging Nederland haar tienjarig bestaan. De vereniging komt op voor de belangen van de mensen die aan de ziekte van Gaucher lijden.

De ziekte is een van de twintig- tot dertigduizend erfelijke afwijkingen die de mens kunnen treffen. Het ervoor verantwoordelijke gen is inmiddels gelokaliseerd (op chromosoom 1). Er zijn inmiddels wel dertig verschillende foutjes, mutaties, in het gen bekend. Als beide ouders het foute gen bezitten, heeft een kind 25 procent kans op de ziekte. De ziekte komt bij één op de veertigduizend mensen voor. Bij Ashkenazi-joden (uit Oost-Europa) is de frequentie hoger: één op de tien is drager en één op de vierhonderd heeft de ziekte.

De ziekte is een verstoring van de vetstofwisseling. Ze is genoemd naar de Franse arts Philippe Gaucher die haar in 1882 voor het eerst beschreef. Een noodzakelijk enzym, *beta-glucocerebrosidase*, zo weten we nu, ontbreekt bij de ziekte of is onvoldoende actief. Dit enzym breekt het vet glucocerebroside (op zijn beurt een afbraakprodukt van celmembranen) af tot de suiker glucose en een ander vet, ceramide.

Bij lijders aan de ziekte van Gaucher zwellen de lichaamscellen, vooral de macrofagen, sterk op door het niet afgebroken vet. Allerlei

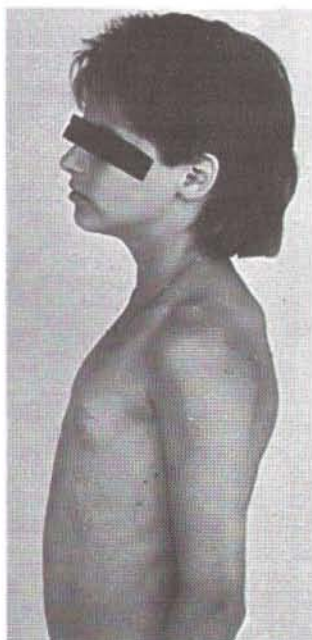
bloed- en botafwijkingen kunnen hiervan het gevolg zijn. De milt bijvoorbeeld kan enorm opzwellen; van 100 cc tot ongeveer tien liter, waardoor een hongerodeemachtige buik (soms abusievelijk voor een 'bierbuikje' aangezien) ontstaat. Het beenmerg kan worden aangetast waardoor minder bloed wordt aangemaakt, er kunnen spontane

botbreuken (zelfs tijdens het slapen) optreden, vaak wordt de groei (de aanvang van de puberteit bijvoorbeeld) vertraagd en de algehele conditie wordt slecht.

Tot nu toe waren er geen geneesmiddelen tegen de ziekte. Men kon hooguit de milt verwijderen, beenmergtransplantaties toepassen of de pijn verlichten.



Een meisje van 14 met de ziekte van Gaucher voor- en nadat ze een jaar lang Ceredase kreeg toegediend. Voor de behandeling vallen haar vergrote milt en tengere bouw



duidelijk op. Ze groeide vrijwel niet meer. Na een jaar heeft haar lichaam zich heel goed hersteld. Na twee jaar Ceredase was ze 18 cm gegroeid. (foto's: Genzyme BV, Naarden)

Suikerstaarten per infuus

In 1991 kwam er een doorbraak. Sindsdien is het mogelijk om het enzym dat de patiënten missen, toe te dienen. Dat betekent niet dat de Gaucher-patiënten opeens kerngezond worden: veel van hun mankementen zijn onherstelbaar, maar verdere verergering van de ziekte kan met toediening van het enzym worden voorkomen.

Al vanaf 1974 was bekend dat het in principe mogelijk was om het enzym dat Gaucher-patiënten missen, per infuus aan te vullen. Pas de laatste jaren bleek het mo-

landse manager. Henri Termeer, een uit Tilburg afkomstige econoom die al vele jaren in de VS leefde, nam toen het roer over en heeft de research van Genzyme meer op geneesmiddelen voor specifieke ziekten gericht.

Het werkte. De afgelopen periode is de markt van biotech-bedrijven (alleen al in de VS waren er 1200) behoorlijk door elkaar geschud en Genzyme lijkt een van de weinige bedrijven (naast Amgen, Chiron, Biogen en Genentech) die nog gezond uit roerige tijd tevoorschijn is gekomen. Roemruchte bedrijven als Cetus, Centocor, Genetics In-

stitute en Synergen bestaan inmiddels niet meer als zelfstandig bedrijf.

Het enzymmiddel tegen de ziekte van Gaucher is een van de eerste wapenfeiten van dit Amerikaanse biotechbedrijf met een Nederlands randje. Ook tegen de ziekte CF, cystische fibrose, tracht Genzyme geneesmiddelen te ontwerpen.

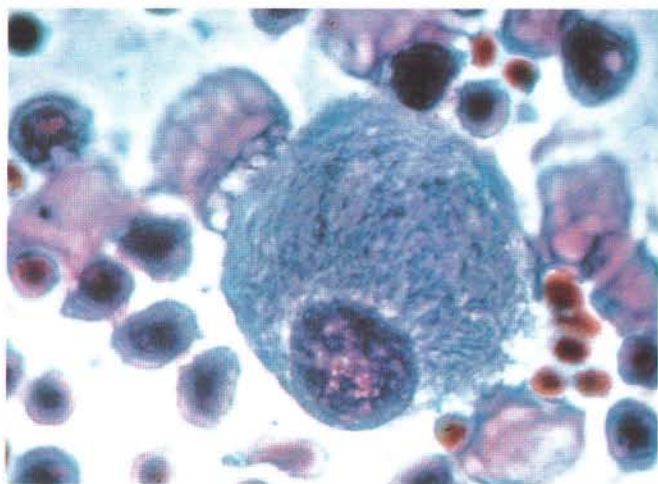
Een heikel punt bij de biotech-geneesmiddelen is vaak de prijs. Er gaat heel veel research in de nieuwe geneesmiddelen zitten – vaak moeten er complete biotechnologische laboratoria worden ingericht – en er is niet zo heel veel octrooibescherming meer over als het middel op de markt komt. Mede daarom worden de geneesmiddelen vaak exorbitant hoog geprijsd. Aldus speelt de opkomst van de biotech binnen de farmacie een niet onbe-

Het uiteindelijke doel bij de behandeling van de ziekte van Gaucher, een erfelijke afwijking in de vetstofwisseling, is gen-therapie: het vervangen van het zieke gen door een gezond.

gelijk de technische problemen op te lossen. Een grote hindernis bleek de juiste chemische vorm van het enzym, zo ontdekte de Amerikaanse arts Roscoe Brady. Pas als het enzym enigszins wordt gewijzigd, wanneer er bepaalde suikerstaarten aan het enzym zitten, herkennen de macrofagen het enzym en kan het opgeslagen vet worden afgebroken. Als het enzym dan regelmatig met een infuus wordt toegediend, wordt langzaam maar zeker het oude, niet-werkende enzym vervangen door wel effectief enzym.

Het bewuste, lichtelijk gemoedificeerde enzym wordt geproduceerd door het biotechbedrijf Genzyme. Dat is in 1982 opgericht als *spin-off* van het MIT, de beroemde technische universiteit in Boston. Sinds 1985 heeft het bedrijf overigens een Neder-





langrijke rol op de achtergrond van het conflict tussen de farmaceutische industrie en overheden in de diverse landen. Zo heeft in de VS Hillary Clinton de strijd met de industrie aangeboden en in

Nederland staatssecretaris Hans Simons.

Ook de prijs van het enzym tegen de ziekte van Gaucher (de merknaam is Ceredase) is stevig. In het eerste jaar dat een patiënt wordt behandeld kunnen de kosten wel eens meer dan honderdduizend gulden bedragen. Doorgaans kan binnen een jaar de dosis worden verlaagd om uiteindelijk op een kostenniveau van zo'n vijftigduizend gulden (nog altijd pittig in vergelijking met conventionele geneesmiddelen) terecht te komen.

Met andere woorden, de behandeling van zo'n zeldzame ziekte kan al gauw enkele miljoenen guldens per land kosten: in Nederland zijn er ruim veertig patiënten waarvan bekend is dat ze aan de ziekte lijden en wellicht ook nog eens enkele tientallen die het nog niet weten. In totaal zijn er vermoedelijk vier tot vijfduizend patiënten in Europa, Amerika en Japan – de gebieden waar men het geld heeft om de ziekte te behandelen. Inmiddels worden er wereldwijd een kleine duizend patiënten daadwerkelijk met het enzym behandeld.

Enzym uit placenta's

Momenteel bevindt de behandeling van de ziekte van Gaucher zich in een eerste fase. Het enzym dat de patiënten missen wordt gewonnen uit de placenta's van pas bevallen, gezonde vrouwen. In Europa geschiedt dit in samenwerking met het Institut Merieux, een Franse farmaceutisch bedrijf nabij Lyon.

De tweede fase is het maken van het enzym met behulp van de recombinant-DNA-techniek. Gezien de mimie maar altijd aanwezige risico's van het winnen van producten uit bloed en weefsel (zo navrant benadrukt door de aidsepidemie onder hemofilie-patiënten) is dat een aanzienlijke vooruitgang. Ook in andere opzichten trouwens: per patiënt zijn er al gauw enkele honderden placenta's per jaar nodig.

Het nieuwe product is inmiddels klaar (bereid uit genetisch gemanipuleerde ovariumcellen van de Chinese hamster) en ter registratie aan de Amerikaanse overheid, de FDA, aangeboden. Het zal naar verwachting binnen enkele jaren in Europa beschikbaar komen.

De derde fase tenslotte zal vermoedelijk gentherapie, het vervangen van zieke genen door gezonde, worden. De Nederlander Dinko Valerio (werkzaam bij TNO) is een van de onderzoekers die hieraan werkt.

Een zogenaamde gauchercel is een macrofaag die duidelijk is vergroot. De kern bevindt zich aan de rand van de door vetophoping vergrote cel.

Eén van de productiefaciliteiten voor Ceredase in Cambridge, Massachusetts.

De Gaucher Vereniging Nederland is te bereiken op telefoonnummer 08340-62076. Er is nog geen Belgische evenknie van.

Laserlicht onder de motorkap

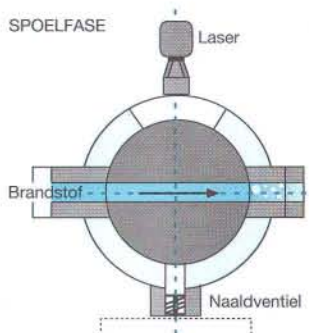
Duitse onderzoekers ontwikkelen een brandstof-inspuitstelsysteem dat werkt met laserlicht. Een korte puls laserlicht moet een precieze hoeveelheid brandstof in de inlaat van een Ottomotor brengen. Aan zo'n inspuitechniek zijn tal van voordelen verbonden: minder benzineverbruik in een stationair draaiende motor, een snellere reactie op bewegingen van het gaspedaal en een lagere belasting van bewegende delen.

Er is een grote inspanning nodig om te zorgen dat de milieubelasting door het autoverkeer niet de spuigaten uitloopt. Naast verkeerstechnische vernieuwingen, zoals autonavigatiesystemen en routebegeleidingssystemen, kan een verdere technische vervolmaking van de automobiel een bijdrage leveren. Zo heeft de in de jaren tachtig geïntroduceerde uitlaatgaskatalysator gezorgd voor een verminderde uitstoot van schadelijke gassen.

De aanvoer van brandstof naar de motor is een punt waar wel wat aan te verbeteren valt. De meeste auto's in Europa zijn voorzien van een carburateur, waarin benzine wordt gemengd met lucht. Langzamerhand maakt de motor met carburateur plaats voor de motor met elektronisch geregelde brandstofinspuiting (injectie), waarbij de brandstof en de samengeperste lucht afzonderlijk de cilinder bereiken. Benzine-injectie biedt diverse voordelen. De zuiger levert een grotere slagkracht, er is een geringer brandstofverbruik, de draaimomenten zijn bij lagere toerentallen hoger, de uitlaatgassen zijn schoner en de motor gedraagt zich beter bij het warmdraaien.

Nochtans is er een grens aan de precisie waarmee de injectietechniek brandstof kan doseren. Er is een marge van vijf procent en de kleinste doseerbare hoeveelheid

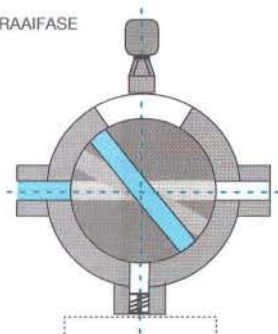
bedraagt ongeveer drie milligram per cilinder per slag. Met de huidige stand van de techniek zijn deze waarden slechts marginaal te verbeteren. Maar de minimale hoeveelheid in te spuiten brandstof zou nog kleiner moeten zijn. Vooral bij het stationair draaien — voor een stoplicht of in de file — is er dan een sterke beperking van de hoeveelheid uitlaatgassen mogelijk. Daarnaast zoeken technici naar systemen die snel op veranderingen reageren en die bestaan uit minder bewegende delen zoals inspuitepompen.



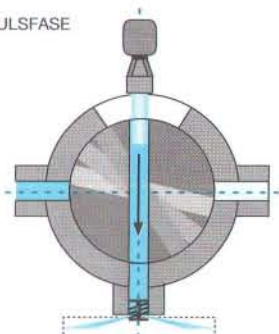
Al in 1988 vroeg een Duitse onderzoeker zich af, of de genoemde doelen niet haalbaar waren als men een laser zou inzetten. Na een vooronderzoek aan het Fraunhofer-instituut voor laser-



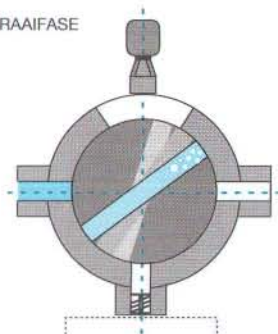
DRAAIFASE



PULSFASE



DRAAIFASE



techniek in Aken, maakte men in het onderzoekscentrum in Jülich een proefopstelling. Met laserlicht ligt een groot scala aan golflengten – van microgolven tot ultraviolet licht – binnen handbereik. Zowel de pulsduur als het pulsvermogen kunnen elektronisch zeer precies en nagenoeg direct worden geregeld.

Het nieuwe inspuitstelsel werkt volgens een eenvoudig principe. In een brandstofleiding verhit laserlicht een klein volume brandstof. Als dat volume verdampt, neemt de druk in de leiding toe. Via een ventiel stroomt dan brandstof naar de cilinder.

Nevenstaand schema toont zo'n stelsel waarin een laser zorgt voor de brandstofinjectie. Dat stelsel bevat nog een draaischijf, die bij de uiteindelijke technische realisatie hopelijk kan vervallen. Het toont echter wel duidelijk de werkwijze.

In de spoelfase vult zich een leiding in de schijf met verse brandstof. Gasbellen verdwijnen en de leiding koelt af door de koude brandstof. In de daarop volgende rotatiefase draait de schijf, in het zelfde tempo als de krukas, over een hoek van 90°, waarna in de pulsfase een vrije doorgang tussen het lichtvenster en het ventiel bestaat. Een laserpuls treedt via het venster de brandstofruimte binnen. De pulsenergie komt terecht in een klein volume vloeistof. Dat verdampt daardoor zeer snel. De drukpuls die daarbij ontstaat, opent het naaldventiel, dat

Bij de ontwikkeling van het nieuwe brandstofinjectiesysteem, gebruikten de Duitse onderzoekers een brandstofleiding die door een draaibare cilinder liep. In de spoelstand vulde het deel van de leiding in de cilinder (de kamer)

door een veer op zijn plaats wordt gehouden. Veelal is daarvoor een druk van zo'n vier atmosfeer nodig. Via het ventiel stroomt vervolgens een hoeveelheid benzine naar de cilinder. Deze hoeveelheid komt overeen met het gasvolume dat is ontstaan bij het lichtvenster en is evenredig aan de hoeveelheid ingestraalde energie. De draaischijf komt vervolgens weer in de spoelstand waarna het gehele proces zich kan herhalen.

Het benzinemengsel kan niet met ultraviolet laserlicht worden verwarmd, omdat dan bindingen in molekulen kunnen verbreken en er ongewenste reacties kunnen optreden. Zichtbaar licht is ook niet geschikt, omdat benzine dit licht nauwelijks absorbeert. Infrarood laserlicht vormt wel een goede mogelijkheid. Na absorptie daarvan trillen de atomen in een molekuul heftiger ten opzichte van elkaar. De kortste golflengte waarbij zo'n effect optreedt, is circa 3 µm. De energie van die straling komt overeen met de trillingsenergie van de koolstof-waterstofbinding. Bij langere golflengten kan laserlicht ervoor zorgen dat koolstofatomen ten opzichte van elkaar gaan trillen.

zich met brandstof, in de pulsfase verhitte de laserstraal brandstof zodat overdruk ontstond, waarna een weegschaal registreerde hoeveel brandstof er vanwege de overdruk door het brandstofventiel was gestroomd. (Foto: KFA Jülich, D)

Bij het onderzoek gebruikte men laserlicht met een golflengte van 9 tot 11 µm, afkomstig van een koolstofdioxidelaser. Een molekuul kan zijn trillingsenergie zeer snel afstaan aan zijn omgeving. Het resultaat is dat de in beweging gezette vloeistof zeer snel opwarmt. Als de geabsorbeerde hoeveelheid energie een drempelwaarde overschrijdt, gaat de vloeistof over in damp. Die drempelwaarde hangt af van de specifieke warmte, de verdampingstemperatuur en de energie die nodig is voor het ontkiemen van gasbelletjes.

De onderzoekers dienden na te gaan welke invloed diverse variabelen op de verdamping en injectie van de brandstof hebben. Ze bouwden een opstelling, waarin ze de duur en de energie van de laserpulsen en de grootte en vorm van het absorberende benzinevolume konden variëren.

De centrale onderdelen van de opstelling zijn een koolstofdioxidelaser met 60 W continuvermogen en de leiding waarin de brandstof moet verdampen, de verdampingskamer. Door een lenzensysteem in de hoofdbundel kan men de diameter van de laserstraal bij het binnendringen

van de verdampingskamer variëren. Zo beïnvloedt men de grootte van het absorptievolume. Een helium-neonlaser en een fotodiode bevinden zich aan weerszijden van het ventiel. Als de brandstof de kamer verlaat, verstrooien de kleine benzinedruppeltjes het zichtbare laserlicht dat de helium-neonlaser uitzendt. De fotodiode neemt daardoor minder licht waar. Niet alleen het openen en sluiten van het ventiel, maar ook het verloop van de verstoven brandstof kan men zo vaststellen. De hoeveelheid brandstof die bij iedere puls het ventiel passeert, meet men in een weegschaaltje op een gevoelige balans.

Het maximale vermogen dat de koolstofdioxidelaser leverde, was maar net voldoende. Er waren vrij lange pulsen nodig om de gewenste maximale energiedichtheid te verkrijgen. Bij pulsen van enkele milliseconden kon het laserlicht 15 milligram benzine verdampen, voldoende om een volbelaste motorcilinder van brandstof te voorzien. Teneinde ook het andere uiterste — zeer korte (100 ns) energierijke pulsen — te onderzoeken, gebruikte men een ander lasertype, dat in pulsstand zeer hoge vermogens en hoge gasdrukken levert.

De snelheid waarmee de brandstof na korte en lange pulsen door het ventiel wordt geperst, is vergeleken met de motortechnische eisen. Voor een viercilinderviertaktmotor die zesduizend toeren per minuut maakt, is de maximaal toelaatbare verstuivingstijd 12 ms als iedere cilinder de brandstof apart krijgt toegediend en 5 ms als er een systeem is dat alle vier cilinders van brandstof voorziet. De kortste tijd blijkt met een lange puls met laag vermogen amper te halen, maar de korte puls met hoog vermogen blijft er ruimschoots onder.

Niettemin zal in de praktijk de pulslengte niet in de buurt van deze uitersten liggen. Bij de lange puls is het de mechanische trillingsduur van het ventiel (ca.

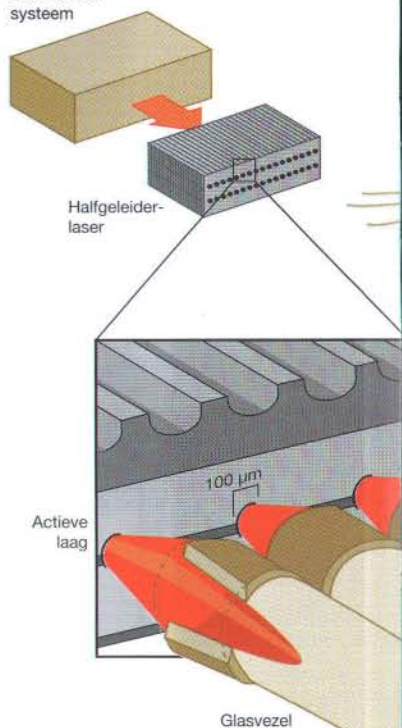
1 ms) die de verstuiving moduleert. Bij de extreem korte puls is het vermogen zo hoog, dat ze in de buurt komt van de drempelwaarde waarbij het ZnSe-lichtvenster beschadigd raakt. De optimale pulsduur is ongeveer 100 μ s, enerzijds kort genoeg om de verstuiving te laten plaatsvinden binnen een trillingsperiode van het ventiel, anderzijds lang genoeg om vermogensdichtheden te gebruiken waarbij het lichtvenster niet overmatig wordt belast. Naast de karakteristieke tijden zijn zowel de samenhang tussen de geleverde energie en de hoeveelheid verstoven brandstof als de reproduceerbaarheid van belang. Als het pulsvermogen hoger is dan 0,1 J, neemt met toenemende energie ook de hoeveelheid verstoven brandstof toe. Door verandering van het pulsvermogen, de pulslengte of beide, kan men de hoeveelheid brandstof binnen zekere grenzen gemakkelijk en precies te doseren.

Naast loodvrije normale benzine, onderzochten de onderzoekers ook twee zuivere vloeistoffen, namelijk n-heptaan en isopentaan. Vanwege de welbekende eigenschappen van deze vloeistoffen (specifieke warmte, verdampingspunt en verdampingswaarde) kon men zo de theoretische modellen beter toetsen.

De verstuiving van benzine vereist minder energie dan de verstuiving van n-heptaan. Dat hangt samen met de vluchtigere bestanddelen in benzine, die gemakkelijk verdampen. Dit heeft overigens geen invloed op de samenstelling van de ingespoten brandstof. Er hoeft slechts 0,2 mg brandstof te worden verdampt om tien milligram brandstof door het ventiel te persen.

Een viercilindermotor die bij 3600 toeren per minuut 60 kW levert, heeft per cilinderslag 15 mg brandstof nodig. Dat komt overeen met een totaal aan 1,8 gram brandstof per seconde. Om die hoeveelheid brandstof te ver-

Elektronisch systeem

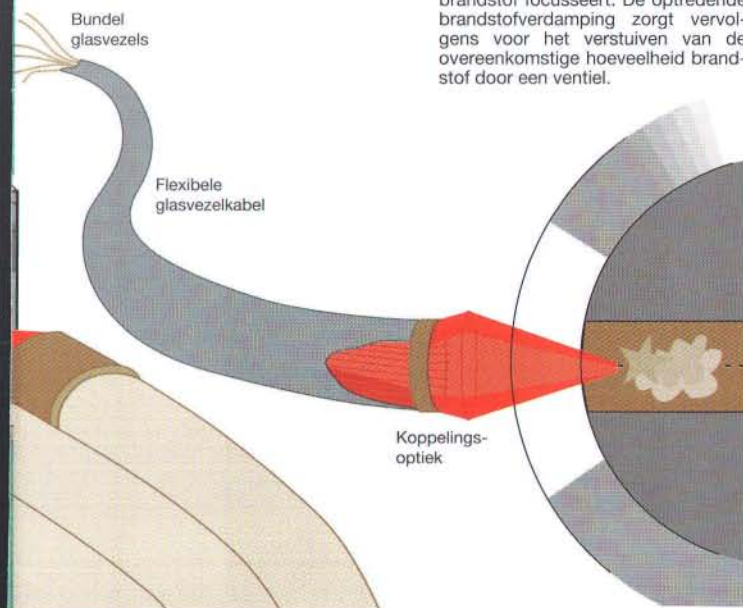


stuiven, moet een laser gemiddeld 120 W energie leveren. Met een laserrendement van 40% is er dus een elektrisch vermogen van 300 W nodig. Dat is vrij hoog, maar daar staat tegenover dat er geen vermogen meer nodig is voor de hogedrukpomp en de ventilaanstuuring die bij bestaande systemen nodig zijn.

Uit de proeven blijkt dat het nieuwe systeem ook brandstofhoeveelheden van nog geen milligram zeer precies kan verstui-ven. Dat betekent dat de minimale hoeveelheid brandstof die het inspuitsmechanisme aan een cilinder kan leveren, met een derde is teruggebracht. De doorstroom-spreiding is nu 1 op 15 in plaats van 1 op 6.

Een belangrijk rol bij het optimaliseren van de insputting spelen de grootte en de vorm van het brandstofvolume dat de laserpuls

Zo zal het toekomstige brandstofinspuitsysteem eruit kunnen zien, als de juiste halfgeleiderlaser beschikbaar is. De gepulste laserbundels worden daarbij samengevoegd in een lichtvezel en vervoerd naar een ontkoppelingsoptiek, die het infrarode licht door een venster in de brandstof focuseert. De optredende brandstofverdamming zorgt vervolgens voor het verstuiven van de overeenkomstige hoeveelheid brandstof door een ventiel.



absorbeert. Bij benzine bleek het optimale volume enige honderdsten kubieke millimeter te bedragen. De optimale vorm is die van een gelijkzijdige cilinder. Dat laatste is nauwelijks verbaasd, aangezien bij deze vorm sprake is van een zeer gunstige verhouding tussen oppervlak en volume. Het verlies van warmte aan de omringende vloeistof is dan minimaal. Bij het onderzoek met de laser die zeer korte energierijke pulsen gaf, bleek dat bij een open leiding de verhouding tussen brandstofhoeveelheid en ingestraalde energie nauwelijks verslechterd was in vergelijking met een gesloten leiding. Blijkbaar voldoet bij de snelheid waarmee het proces verloopt de traagheid van de omringende vloeistof als surrogaat voor de starre kamerwanden. Daarmee is een eenvoudiger systeem voorstelbaar, dat bestaat uit

een leiding waardoor brandstof stroomt en diametraal tegenover elkaar liggend laserlichtvenster en verstuivingsventiel. Het enige beweegbare onderdeel van zo'n systeem is dan het met een veer uitgeruste ventiel. Uit de experimenten blijkt, zeker als men het vergelijkt met de motortechnische eisen en de technische gegevens van conventionele systemen, dat de insputting van brandstof met laserlicht technisch haalbaar is. Er zijn zelfs tal van voordelen aan verbonden. De hoeveelheid brandstof die voor iedere cilinderslag nodig is, kan zeer betrouwbaar en snel worden geleverd. Bovendien is de hoeveelheid zeer snel te regelen. Het brandstofverbruik in een stationair draaiende motor kan per cilinderslag tot minder dan een milligram worden teruggebracht. Tenslotte is er uitzicht op een

brandstofleverend systeem dat veel eenvoudiger van constructie is, met als gevolg een betere bedrijfszekerheid en een langere levensduur.

De komende jaren zullen nog vele onderzoeken volgen om de puntjes op de i te zetten. Dat beperkt zich natuurlijk niet tot fundamenteel onderzoek. Er zal ook een prototype van het systeem in een auto moeten worden getest. Wegens gebrek aan andere lasers die voldoende vermogen in het infrarode licht kunnen leveren, is men daarbij voorlopig aangewezen op de gaslaser. De gebruikte koolstofdioxidelaser weegt, inclusief energievoorziening, ongeveer tachtig kilo. Zoiets bouwt men niet zo gauw in een auto in. Er worden echter al pogingen ondernomen om een miniatuur-CO₂-laser te ontwerpen. Zo'n apparaat zou in de nabije toekomst goed kunnen bijdragen aan de automobilontwikkeling: het is sterk, heeft een lange levensduur, vergt weinig onderhoud, is schokbestendig en is stabiel bij temperaturen tussen -40°C en 150°C.

De meest veelbelovende kandidaten zijn echter de halfgeleiderlasers. Halfgeleiderlasers zijn met name voor de optische signaaloverdracht in glasvezels op grote schaal ontwikkeld. Daarbij gebruikt men golflengten die zo min mogelijk in de glasvezels worden afgezwakt, zoals 0,8 µm en 1,6 µm. Maar het doel in het hier beschreven onderzoek is om stralingsenergie na een zeer korte afstand volledig in benzine te laten absorberen. Daarbij is sprake van golflengten van minimaal 3 µm. In principe is het mogelijk om ook voor die golflengten halfgeleiderlasers te ontwikkelen. Pas als die beschikbaar komen, is er een kans dat het nieuwe brandstofverstuivingsysteem zijn intree op de markt zal doen.

(Bron: Jahresbericht 1992, KFA Jülich)

Nationale Natuurwetenschappelijke Olympiades in Nederland en Vlaanderen

Zoals ieder jaar gebruikelijk is, deden het afgelopen schooljaar duizenden scholieren mee aan de voorronden van de nationale natuurwetenschappelijke olympiades. Een selecte groep plaatste zich voor de nationale finales.

In de nationale finales konden de besten zich kwalificeren voor uitzending naar de internationale olympiades. Daartoe moesten ze lastige opgaven maken en – bij scheikunde, biologie en natuurkunde – hun praktische vaardigheden bewijzen. Bij de finales was er, naast de benodigde tijd voor lessen, praktijk en opgaven, ook ruimte voor ontspanning.

Een aantal van de winnaars van de nationale olympiades heeft inmiddels meegedaan aan de internationale competities en is in Nederland en België weergekeerd met welverdiende medailles.

Natuur & Techniek ziet het als haar taak om jong talent en jonge onderzoekers te stimuleren – niet alleen met prijzen maar ook met het vermelden van hun naam aan school. In nevenstaande tabellen staan de tien prijswinnaars van iedere olympiade en hun docenten vermeld. Docenten spelen immers een belangrijke rol bij het wekken van de interesse van leerlingen voor hun vak. Bovendien besteden veel leraren extra tijd en energie aan de voorbereiding van hun leerling voor de finale.

De Nederlandse Wiskunde Olympiade is in het najaar van 1992 gehouden. De overige olympiades vonden in het voorjaar van 1993 plaats.

Vlaamse Chemie Olympiade

- | | |
|-----------------------|---------------------------------|
| 1. James Bates | KA Etterbeek, Brussel |
| 2. Jo Bogaerts | KA Halle, Halle |
| 3. Yvan Borremans | KA III, Gent |
| 4. Stijn de Brabander | St. Jan Berchmanscollege, Diest |
| 5. Jeroen Hautekeete | Koninklijk Lyceum, Gent |
| 6. Geert Janssens | St. Jozefcollege, Lommel |
| 7. Chiu Hon Leung | SITO 7, Antwerpen |
| 8. Axel Nackaerts | St. Jan Berchmanscollege, Diest |
| 9. Peter Peumans | Heilig-Hartcollege, Wezembeek |
| 10. Wim Stremerch | TI St. Carolus, Sint-Niklaas |

Vlaamse Fysica Olympiade

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| 1. Joost Bekaert | St. Jozefcollege, Izegem |
| 2. Jo Bogaerts | KA Halle, Halle |
| 3. Gert Cuypers | St. Albertuscollege, Heverlee |
| 4. Wim de Ketelaere | St. Hendrikcollege, Deinze |
| 5. Jeroen de Pessemier | Koninklijk Lyceum, Gent |
| 6. Björn Doolaeghe | St. Vincentiuscollege, Ieper |
| 7. Yves Goetgheuck | KA St. Pieters-Woluwe, Brussel |
| 8. Jeroen Hautekeete | Koninklijk Lyceum, Gent |
| 9. Youri Meuret | KA Kortrijk, Kortrijk |
| 10. Geert Mortier | St. Lutgardiusinstituut, Oostende |

Vlaamse Biologie Olympiade

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Nico Boon | KA I, Tienen |
| 2. Laurence Combes | KA Assebroek, Assebroek |
| 3. Kristof Ghekie | St. Jozefinstituut, Kortrijk |
| 4. Karen Goris | Heilig-Hartinstituut, Heverlee |
| 5. Thomas Hertog | St. Romboutscollege, Mechelen |
| 6. Jorg Lambrechts | KA I, Tienen |
| 7. Joris Penders | Stedelijke Humaniora, Dilsen |
| 8. Eva Smets | Humaniora Virga Jesse, Hasselt |
| 9. Jan Stuckens | KA I, Tienen |
| 10. Marleen van Paemel | KA III, Gent |

Nederlandse Chemie Olympiade

- | | |
|----------------------|--|
| 1. Patrick van Aarle | RK Gymnasium Beekvluit, St. Michielsgestel |
| 2. Eddy Ardonne | Stedelijke SG, Middelburg |
| 3. Thomas Barends | Maartenscollege, Groningen |
| 4. Renske Beetstra | Gemeentelijk Gymnasium, Apeldoorn |
| 5. Peter v.d. Berg | Meandercollege, Zwolle |
| 6. Rogier Blom | Lambert Franckens College, Elburg |
| 7. Ewgen Boschman | Meandercollege, Zwolle |
| 8. Niek Buurma | CSG Oostergo, Dokkum |
| 9. Sander van Doorn | Chr. Lyceum, Almelo |
| 10. Govert Heijboer | Chr. Gymnasium, Leeuwarden |

Nederlandse Natuurkunde Olympiade

- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Marco Leeuwen | Eckartcollege, Eindhoven |
| 2. Alexander Heimel | OSG Schoonoord, Zeist |
| 3. Jeroen Wiemer | Stedelijk Gymnasium, Breda |
| 4. Frank v. Lankvelt | Gymnasium St. Willibrord, Deurne |
| 5. Michiel Blauw | OSG Huygenwaard, Heerhugowaard |
| 6. Floris de Vooy | CSG Middelburg, Middelburg |
| 7. Mike Aerts | College Sittard, Sittard |
| 8. Freek Dijkstra | SG Goois Lyceum, Bussum |
| 9/10. Egon Janssen en Jorrit Rouwe | Stedelijk Gymnasium, Nijmegen |
| | Werkman College, Groningen |

Nederlandse Biologie Olympiade

- | | |
|-------------------|-----------------------------------|
| 1. Stephan Houben | St. Ursula SG, Horn |
| 2. Chris Bakker | Willem Lodewijk Lyceum, Groningen |
| 3. Edith Raats | Gertrudis Lyceum, Roosendaal |
| 4. Sander Nijdam | Eckartcollege, Eindhoven |
| 5. Björn Lammers | Wagenings Lyceum, Wageningen |
| 6. Fieke Dekkers | Stedelijk Gymnasium, Nijmegen |
| 7. Hein Wijma | Christelijk Gymnasium, Leeuwarden |
| 8. Arent Melis | Coomhert Gymnasium, Gouda |
| 9. Pieter Luteijn | Gymnasium Haganum, Den Haag |
| 10. Mark Houben | Van Maerlantlyceum, Eindhoven |

Nederlandse Wiskunde Olympiade

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Koen Claessen | Stedelijk Gymnasium, Breda |
| 2. Marcus Martina | Stedelijk Gymnasium, Breda |
| 3. Jitse Niesen | Collegium Marianum, Venlo |
| 4. Jeroen Wiemer | Stedelijk Gymnasium, Breda |
| 5. Kevin Backhouse | Carolus Borromeuscollege, Helmond |
| 6. Olaf Pennings | Samenwerkingsschool, Waddinxveen |
| 7. Freek Dijkstra | SG Goois Lyceum, Bussum |
| 8. Thorsten Gragert | SG Kottenparkcollege, Enschede |
| 9. Jan-Alexander Heimel | OSG Schoonoord, Zeist |
| 10. Henk Boluijt | Ref. SG Guido de Brès, Rotterdam |

Docent

- J.C. de Vroey
J. Huau-Verhelst
J. van Paemel
J. Jordens
R. Cnudde
J. Jansen
H. Warsztacki
J. Jordens
E. Vandenbempt
G. Van der Haegen

- G. Vandeputte
M. Allart
H. Stinssen
C. Simoens
A. De Schrijver
M. Deman
K. Vandervelde
A. De Schrijver
J. Sileghem
C. Rosseau

- J. Robijns
J.P. Van Boeckel
M.C. Gelade
M. Verdonck
M. Verbeek
J. Robijns
J. Gaethofs
M. Evens
J. Robijns
M. Lambert

- M. Scheffers-Sap
G. Boer
R. Grooten
H.J. Teerink
J. Bos
M.P. Leenhouts
J. Bos
F. Buurma
A. de Vries
E.L. Feitsma

- E. de Groot
L. Heijmel-Robeer
M. van Dam
J. van Galen
M. Maas
W. Coppoolse
P.L.A. Soeterbroek
P. Sollman
C. Heesbeen
C. Migchelsen

- J. Lègèr
A.J. Ludden
H. van der Ster
C.J.M. Dietvorst
F.H. Leendertz-Polak
J.Y.E. Alkema
H. Westra
D.T.F.M. van Bokhoven-Duffues
M.F.W. Dubois
W.H.M. Ruijters

- W.P.M. Clevén
W.P.M. Clevén
B.W.J. Jeuken
W.P.M. Clevén
H.J.M. de Leuw
R. van Oord
R.M. Heerschoop
H. Ruizenaar
A.T.M. Krabbenborg
J. Pijl

SIMULATICA

Prof dr
H.A. Lauwerier

Toeval of niet?

Wiskundigen en fysici bedienen zich bij computersimulaties vaak van reeksen toevallige getallen. Veel computergebruikers kennen de opdracht RND, die hun computer een toevallig getal tussen 0 en 1 doet produceren. De computer bedient zich daarbij van een klein ingebouwd programma dat volgens een eenvoudige formule uit een reeds bekend toevallig getal een volgend toevallig getal kan afleiden, een zogenaamde *random number generator* (RNG). Het lijkt wel tegenstrijdig. Enerzijds maakt de RNG volgens een vast recept een rij getallen, maar anderzijds vertoont de rij getallen zo weinig regelmaat dat hij praktisch niet van een ideale rij toevallige getallen te onderscheiden is. Sommigen spreken dan ook liever van pseudo-toevalsgetallen.

De meest in gebruik zijnde RNG's maken gebruik van de volgende formule: $x \rightarrow a x + c \text{ mod } m$. Daarbij moeten we alle getallen opvatten als zogenaamde *double length integers*. Deze getallen moeten kleiner zijn dan 231. Het getal x is een natuurlijk

getal dat de gebruiker invoert. Het moet liefst onregelmatig en niet te klein zijn. Het getal m is een hoge macht van 2, omdat de computer intern de berekeningen uitvoert in het tweetallige stelsel. Voor a kiest men meestal een groot getal zoals 3141592621. Niet elke waarde van a is even geschikt. Men geeft er de voorkeur aan dat a een achttvoud plus vijf is. Het getal c is minder belangrijk. Vaak is het gelijk aan 1 of aan a . Men kan eenvoudig nagaan dat de rij getallen die door herhaalde toepassing van de regel wordt gegenereerd, periodiek is. Dat wil zeggen dat dezelfde rij tenslotte weer terugkomt. Als die periode maar groot genoeg is, hindert dat niet in de praktijk.

Om er zeker van te zijn dat de rij getallen veilig bruikbaar is, moet een aantal statistische toetsen worden uitgevoerd. Er zijn computergebruikers die een beetje eigenwijs zijn en die zich bedienen van een RNG uit eigen kring. Vaak is zo'n RNG onvoldoende getest en dan kunnen er ongelukken gebeuren. Dat ondervond kort geleden een theoretisch natuur-

```
REM ***Chikwadraattest voor randomgetallen***
REM ***Naam:CHITEST***
SCREEN 12 : CLS
K=51 : DIM X(K) 'Aantal klassen
WINDOW (-.1*K,-20)-(1.1*K,60)
N=1000 'Aantal trekkingen
RANDOMIZE 111
S=0 : LINE (0,0)-(K-1,0)
FOR I=1 TO N
  M=INT(K*RND)
  X(M)=X(M)+1
NEXT I
FOR J=0 TO K-1
  Y=X(J)
  S=S+Y*Y
  LINE (J,0)-(J,Y)
NEXT J
V=K*S/N-N
LOCATE 1,1 : PRINT USING "###.##";V : LOCATE 3,1 :
PRINT"1% 30 | 5% 35 | 25% 43 | 50% 49 | 75% 56 | 95% 67 | 99%
```

76
END



kundige bij een computersimulatie van zogenaamde faseovergangen (*New Scientist*, 24 april 1993). Het computerresultaat week af van wat de theorie voorspelde. Na veel speurwerk bleek uiteindelijk de schuld te liggen bij een gebrekkig functionerende RNG.

Hieronder geven we een toets, een speciaal geval van de bekende χ^2 -toets. De bedoeling is te toetsen of een rij van vele honderden pseudo-toevalsgetallen wel gelijkmatig is verdeeld. De getallen liggen tussen 0 en 1, als dat door de opdracht RND wordt berekend. De geproduceerde getallen delen we in vijftig klassen in. Dat is een flink groot aantal klassen, maar toch niet al te groot, nog net passend in de bekende tabellen van de χ^2 -toets. We nemen aan dat er in

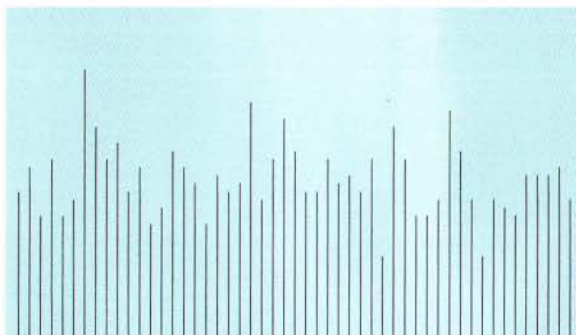
totaal n getallen worden gegenereerd. Stel dat y_i het aantal getallen is dat in de i -de klasse terechtkomt, dan berekenen we de grootte V volgens de formule:

$$V = k \cdot 1/n \cdot \sum y_i^2 - n$$

waarbij we k , het aantal klassen, nog even in het midden laten. De sommatie geschiedt uiteraard over alle klassen van 1 tot en met k . Het getal V zoeken we op in een tabel van de χ^2 -toets.

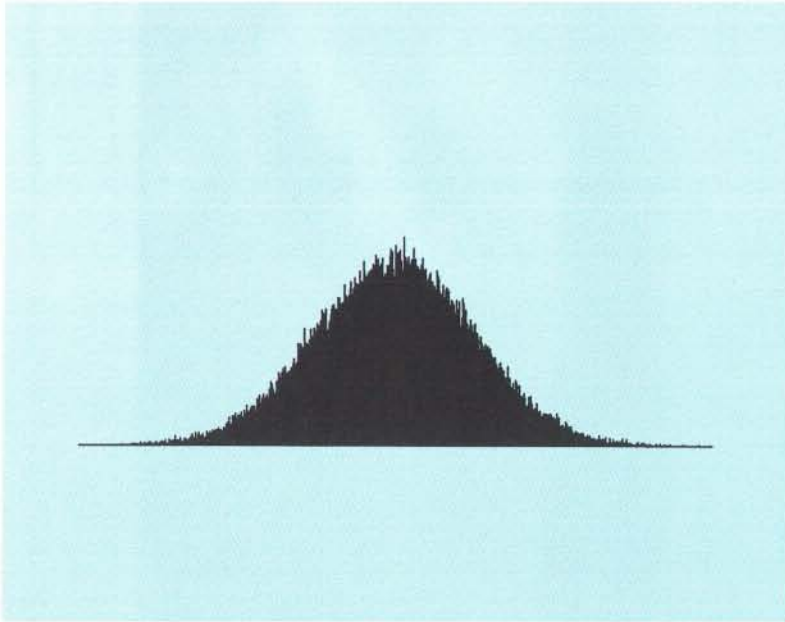
Het is aardig de χ^2 -toets eens op de RNG van de personal computer toe te passen. Daartoe kan onderstaand programma dienen. Enigszins willekeurig nemen we een reeks van duizend door de computer gegenereerde randomgetallen. Daarbij kunnen we uitgaan van een zelf gekozen beginwaarde, 111 bijvoorbeeld. Het programma berekent de waarde van V en beeldt tegelijk de verdeling als een staafjesgrafiek op het scherm af. De uitkomst toetsen we aan de hand van een standaardtabel. Op het scherm staat de regel uit die tabel afgebeeld, die behoort bij een verdeling in 51 klassen (tellend voor 50 vrijheidsgraden). Bij bijvoorbeeld 75% staat het getal 56. Dat wil zeggen dat er een kans van 0,25 is dat V groter is dan 56. Een waarde van V in de orde van 70 doet dus enige twijfels aan de RNG rijzen.

In het door de schrijver uitgevoerde experiment was $V=51,42$, een waarde die ongeveer in het midden van de tabel zit. Zoiets kan dus grofweg



De χ -toets in het programma CHITEST geeft grafisch de betrouw-

baarheid van de random number generator weer.



Ook in moderne, energiezuinige computers zoals op de linkerpagina bevindt zich een *random number generator*. (foto: IBM)

Het programma GAUSSD tekent de normaalverdeling.

in de helft van de gevallen wel voorkomen en er is dan nog geen reden om aan de doelmatigheid van de RNG te twijfelen. Maar natuurlijk wil dit nog niet zeggen dat alle seinen op groen staan, tenzij we erop vertrouwen dat de computerfabrikant een goede keus heeft gemaakt.

Met de RNG van de computer kunnen we ook andere statistische verdelingsfuncties afleiden. Wil men bijvoorbeeld de worp van een dobbelsteen simuleren, dan neemt men eenvoudig de getallen $y = 1 + \text{INT}(6 \cdot x)$, waarbij x een door de computer gegenereerd randomgetal (RND) is. Door herhaling kan een binomiale verdeling worden gemaakt. Er bestaat zelfs een fraaie truc om de normaalverdeling of Gaussverdeling te simuleren. Het recept is als volgt. We gaan uit van de twee getallen $x=2\text{RND}-1$ en $y=2\text{RND}-1$, die uniform zijn verdeeld in het interval $[-1,1]$. Hieruit leiden we $s=x^2+y^2$ af. Wel moet s kleiner dan 1 zijn. Als dat niet het geval is, herhalen we dezelfde procedure nog eens. De getallen $u=x\sqrt{(-2\log(s)/s)}$ en $v=y\sqrt{(-2\log(s)/s)}$ zijn dan onafhankelijke, normaal verdeelde, stochastische variabelen. In het programma GAUSSD met het hiernaast afgebeelde resultaat is het een en ander uitgewerkt.

```
REM ***Gauss-verdeling***
REM ***Naam:GAUSSD***
SCREEN 12 : CLS
WINDOW (0,-400)-(639,800)
RANDOMIZE 11
DIM Z(400) : KMAX=20000
FOR K=1 TO KMAX
  DO
    X=2*RND-1 : Y=2*RND-1
    S=X*X+Y*Y
    LOOP UNTIL S<1
    U=X*SQR(-2*LOG(S)/S) : V=Y*SQR(-2*LOG(S)/S)
    IF ABS(U)<4 AND ABS(V)<4 THEN
      M1=INT(50*(U+4)) : M2=INT(50*(V+4))
      Z(M1)=Z(M1)+1 : Z(M2)=Z(M2)+1
    END IF
  NEXT K
FOR I=0 TO 399
  Z=Z(I)
  LINE (120+I,0)-(120+I,Z)
NEXT I
END
```

Literatuur

Knuth D. The art of computer programming Vol 2. Reading, MA: Addison-Wesley, 1969,1981.

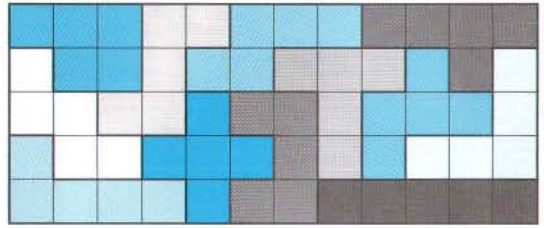
PRIJSVRAAG

Oplossing juli

Het probleem met het gigantische schaakspel, waarover de professor zich in juli boog, is door een groot aantal lezers opgelost. De professor en z'n vrouw mochten beurtelings de koningscentaur verplaatsen op een schaakbord van 64 bij 64 velden. Dit schaakstuk stond op het vakje (62,31), winnaar is degene die dit schaakstuk op het vakje (0,0) zet. De koningscentaur (KC) mag bewegen op de volgende manieren: een koningszet, een paardesprong of een koningscentaurzet, die bestaat uit een koningszet gevolgd door een paardesprong. Hij mag alleen maar naar links, naar beneden of naar linksbeneden bewegen.

Om de oplossing te vinden, zetten we de koningscentaur op het veld (0,0) en verplaatsen we hem alleen naar rechts en naar boven. We definiëren verliezende velden als die velden waar de speler aan zet verliest als de koningscentaur daar staat. Per definitie is dan (0,0) verliezend, evenals (2,0), (4,0), (6,0) ... en (0,2), (0,4), (0,6)... Vanuit het veld (4,4) is men blijkaar gedwongen de koningscentaur naar een winnend veld te brengen. Dit veld is dus verliezend, evenals (4,6), (4,8), (4,10) ... en (6,4), (8,4), (10,4)... Evenzo is (8,8) weer verliezend enzovoort. De professor moet de koningscentaur verplaatsen van (62,31) naar (60,28) en wint. De juiste strategie is om de koningscentaur steeds te zetten op een vakje met de coördinaten (x,y), waarbij de kleinste coördinaat een viervoud is en de andere een tweevoud.

Deze maand voert E.J. Nijhof uit Vianen de laddercompetitie aan. Dat wordt beloond met een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek. De lootprijs, een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, gaat naar T.J.D. de Gruiter uit Hengelo.

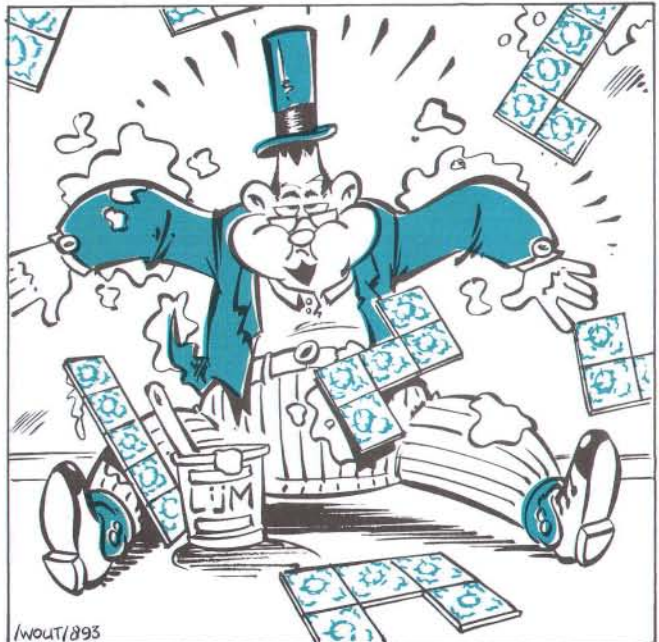


De nieuwe opgave

Voor zijn verjaardag kreeg de professor van zijn studenten een twaalfstal fraai geglazuurde tegels. Alle tegels kan men opgebouwd denken uit vijf vierkanten. De professor puzzelt een kwartiertje met de tegels en verkrijgt een rechthoek van twaalf bij vijf vierkanten, zoals in bijgaand schema aangegeven. Op een ochtend haalt de professor een emmer tegellijm tevoorschijn en begint hij de tegels aan de wand te plakken. Als hij enkele tegels heeft bevestigd, merkt hij dat de rechthoek te hoog is. Hij

zal moeten proberen een minder hoge rechthoek te maken, met een hoogte van vier vierkanten. Nog voordat de lijm hard is, haalt hij de aangebrachte tegels los van de muur, en hij begint opnieuw te puzzelen. Hij wil dat in de nieuwe rechthoek alle twaalf tegels net zo zijn geïoriënteerd als in de oude. Hoe is de nieuwe rechthoek opgebouwd?

Deze opgave werd ons versprekt door de Nederlandse Onderwijscommissie voor Wiskunde. Oplossingen dienen uiterlijk 1 november te zijn ontvangen door de puzzelredactie van Natuur & Techniek, Postbus 415, 6200 AK MAASTRICHT.

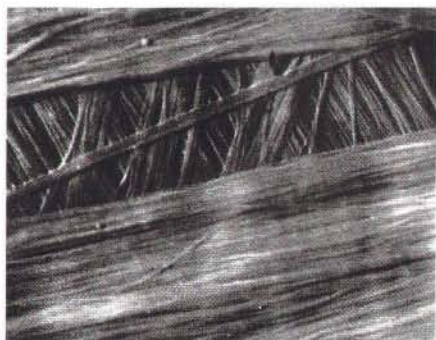


/wout/893

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

KIJK OP WETENSCHAP

De celwand



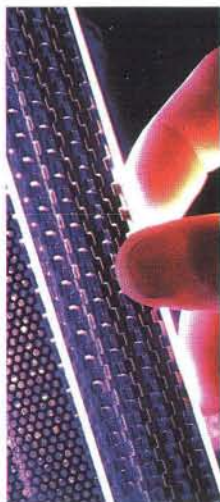
De celwand heeft als buitenste afbakening van een plantecel een belangrijke beschermende functie. Daarnaast geeft de celwand vorm en stevigheid aan de verschillende typen van cellen en daardoor aan de hele plant.



CARA

Drs E.J.M. Weersink, dr D.S. Postma en prof dr G.H. Koëter

Met de term CARA duidt men astma, chronische bronchitis en emfyseem aan. Deze drie aandoeningen kenmerken zich door kortademigheid en een piepende ademhaling, met al of niet hoesten en opgeven van slijm. Wat is er in de luchtwegen aan de hand wanneer iemand last heeft van deze verschijnselen?



Licht

Prof dr G. Nienhuis

De Maxwell-vergelijkingen, de quantummechanica en de quantumoptica geven ons een beeld van wat licht is en hoe licht en materie met elkaar wisselwerken. Voor een goed begrip van het licht is het wel nodig dat we ons het gedrag van een enkel atoom of foton kunnen voorstellen. Probeer u maar.



Formule 1

Kerry Spackman en Sze Tan

Autoracen is een auto zo besturen dat de prestatie limieten van banden, motor en chassis continu niet worden overschreden. De sport maakt korte metten met degenen die hun voertuigcontrole niet tot het hoogste niveau kunnen opvoeren. Wat hebben de kampioenen op hen voor?



Brandstofcellen

Dr W. Visscher

Een brandstofcel is een gelijkstroombron, te vergelijken met een accu. Chemische energie wordt daarin

direct omgezet in elektrische energie. Een brandstofcel kan echter niet leeg raken. Hij blijft stroom leveren zolang er brandstof wordt toegevoerd.

Levensverzekeringen

Prof dr H. Wolthuis en drs B.M. Kling

Actuarissen zijn de beoefenaars van de verzekeringswiskunde. Zij berekenen de verzekeringspremies. Bij het

opstellen van hun wiskundige modellen houden ze rekening met de kansberekening van financiële risico's en met economische grootheden als rente, inflatie en kosten.



IR. OF DRS. IN GRONINGEN

Technische Mechanica (Ir.)	WISKUNDE
technische problemen oplossen met wiskundige methoden	
Technische Natuurkunde (Ir.)	NATUURKUNDE
nieuwe kennis omzetten in industriële toepassingen	
Technische Scheikunde (Ir.)	SCHEIKUNDE
installaties en fabrieken ontwerpen: veilig, schoon en efficiënt	
Technische Farmacie (Drs.)	FARMACIE
de super-apotheker, geneesmiddelen maken op grote schaal	
Technische Informatica (Drs.)	INFORMATICA
een intelligent gebruik van techniek	
Technische Planologie (Drs.)	SOCIALE GEOGRAFIE
onze toekomst, alles om ons heen moet worden gepland	
Technische Bedrijfswetenschappen (Drs.)	BEDRIJFSKUNDE
de organisator: technologie nodig voor een goed produkt	
Technische Cognitiewetenschap (Drs.)	PSYCHOLOGIE, FILOSOFIE EN NATUURKUNDE
kunstmatige intelligentie, de schakel tussen gebruiker en technologie	

EEN UITGESTELDE KEUZE,
EEN INSPIRERENDE WISSELWERKING,
EEN STUDENTENSTAD DIE BRUIST
ALS WEINIG ANDERE.
GRENsverleggend ONDERZOEK EN
DIT TOEPASBAAR MAKEN GAAT IN
GRONINGEN HAND IN HAND.
DE EERSTE EEN À TWEE JAAR VAN
DE TECHNISCHE OPLEIDINGEN
VALLEN SAMEN MET DE VERWANTE
NIET-TECHNISCHE STUDIES.
AL STUDEREND, ZONDER TIJDVERLIES
KUN JE EEN KEUZE MAKEN.
ZODAT JE WEET WAT JE KIEST.
EN JE WORDT EEN INGENIEUR OF
DOCTORANDUS WAAR DE
MAATSCHAPPIJ OP ZIT TE WACHTEN.

Wil je meer weten over techniek studeren
in Groningen, kom dan naar

DE VOORLICHTINGSDAGEN van de

RUG op vrijdag 29 en zaterdag 30 oktober.
Bij aanmelding krijg je al vast de
folder 'Techniek studeren in Groningen'
en de 'Exactkrant' toegestuurd.
Uiteraard kun je ook alleen de folder
en de krant aanvragen.

Bel de onderwijsinformatielijn
050 638025 of schrijf een briefkaart
naar de afdeling Onderwijsvoorlichting,
Postbus 72, 9700 AB Groningen

RUG

Rijksuniversiteit Groningen